





L192

678600

ring

T
160
24

Le point pyramidal

M É M O I R E

Sur la recherche des moyens que l'on pourroit employer
pour construire de grandes Arches de pierre de deux
cents, trois cents, quatre cents & jusqu'à cinq cents
toises d'ouverture, qui seroient destinées à franchir de
profondes vallées bordées de rochers escarpés.

Par le Citoyen *P E R R O N E T*,

*Premier Ingénieur des Ponts & Chaussées de France, de l'Académie
des Sciences, de celle d'Architecture & de la Société d'Agriculture
de Paris, de la Société royale de Londres, des académies de
Stockholm, Berlin, Pétersbourg, Milan & Dijon.*



A P A R I S,

DE L'IMPRIMERIE NATIONALE EXECUTIVE DU CONVENT

M DCC XCVI

AN 232 (1798)

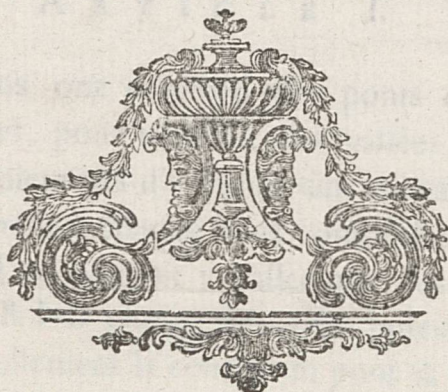
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
25

M É M O I R E

SUR la recherche des moyens que l'on pourroit employer
pour construire de grandes Arches de pierre de *deux*
cents, *trois cents*, *quatre cents* & jusqu'à *cinq cents*
pieds d'ouverture, qui seroient destinées à franchir de
profondes vallées bordées de rochers escarpés;

Par le Citoyen *P E R R O N E T*,

*Premier Ingénieur des Ponts & Chaussées de France, de l'académie
des Sciences, de celle d'Architecture & de la Société d'Agriculture
de Paris, de la Société royale de Londres, des académies de
Stockolm, Berlin, Lyon, Rouen, Metz & Dijon.*



A P A R I S,

DE L'IMPRIMERIE NATIONALE EXÉCUTIVE DU LOUVRE.

M. DCC. XCIII. [1793]

AXB 232 ! (1793)

M É M O I R E

Sur la recherche des moyens que l'on pourroit employer
pour construire de grandes Arches de pierre de deux
cents, trois cents, quatre cents & jusqu'à cinq cents
toises d'ouverture, qui seroient destinées à franchir de
profondes vallées bordées de rochers escarpés;

Par le Citoyen P E R R O N E T,

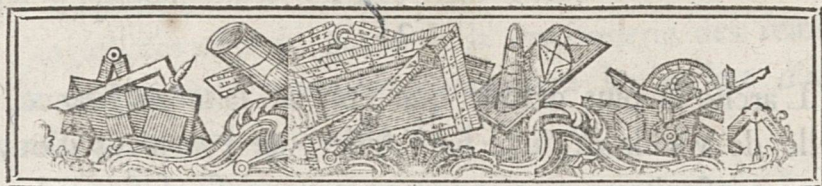
Premier Ingénieur des Ponts & Chaussées de France, de l'Académie
des Sciences, de celle d'Architectes & de la Société d'Agriculture
de Paris, de la Société royale de Londres, des académies de
Stockholm, Berlin, Lyon, Rouen, Metz & Dijon.



A P A R I S,

DE L'IMPRIMERIE NATIONALE EXECUTIVE DU LEVURE.

M. DCC. XCIII.



M É M O I R E

SUR la recherche des moyens que l'on pourroit employer pour construire de grandes Arches de pierre de deux cents, trois cents, quatre cents & jusqu'à cinq cents pieds d'ouverture, qui seroient destinées à franchir de profondes vallées bordées de rochers escarpés.

A R T I C L E I.

LES Péruviens ont employé des ponts de corde faite d'écorce d'arbres, pour traverser des vallées profondes qui ne leur permettoient pas d'y établir des chemins, en arrêtant ces ponts fortement à chaque bout contre des arbres ou des rochers ; mais il ne pouvoit y passer que des gens de pied ou des mulets, & leur charge faisoit des inflexions qui changeoient continuellement la courbe du pont & effrayoient les muletiers : ce qui doit faire désirer à une nation riche & commerçante, telle que doit le devenir la république Française, de construire des ponts plus larges & plus solides dans ces sortes d'endroits.

L'arche la plus grande que l'on ait faite en France, est celle de Vieille-Brioude sur l'Allier, de 172 pieds d'ouverture, construite en 1454; on y en trouve aussi plusieurs de 120 & de 150 pieds, & une pareille à cette dernière à Véronne, faite en 1354. Il y en a également une en Angleterre, dans le pays de Galles, province de Glamorghanshire, sur la rivière d'Usche, de 178 pieds 8 pouces, pied de roi; mais dans un siècle où les sciences & les arts ont fait de si grands progrès, ne pourroit-on pas se flatter d'en établir solidement qui ayent encore plus d'ouverture! c'est ce que nous nous proposons d'examiner dans le présent Mémoire.

3.

La difficulté de faire des arches plus grandes que celles qui sont connues, consiste en trois principales choses que nous examinerons ci-après.

La première est le choix de la pierre, pour qu'elle puisse résister à la pression à laquelle elle sera exposée.

La seconde est la composition des cintres de charpente, & le moyen de les élever; ce qui demande plus d'attention & d'art à proportion que les arches seront plus grandes.

Et la troisième qui exige encore le plus d'attention, est celle de décintrer ou démonter les fermes après la pose des clefs, de manière que l'affaissement des voûtes puisse se faire insensiblement, en conservant leur courbure, sans former de jarrets: ce que nous diviserons en autant de sections.

La quatrième section comprendra la construction des

murs d'épaulement & pilastres, des trompes en tour creuse sur l'angle, des œils de pont, de la maçonnerie des reins.

La cinquième & dernière concernera les arches d'une moindre ouverture que celle de 500 pieds.

SECTION PREMIERE.

Choix de la Pierre.

4.

ON doit préférer la pierre la plus dure que l'on pourra trouver aux environs de chaque endroit de l'établissement de l'un de ces grands ponts, qui soit sans fil ni moye, & dont les bancs de carrière puissent porter au moins 18 pouces de hauteur, étant ébousinée & taillée au vif, dont la plus grande longueur de coupe soit de 7 pieds dans le haut de la voûte; celle des douelles doit être de 4 & 5 pieds; la force de cet appareil sera diminuée aux arches moins grandes, comme on l'expliquera ci-après. Il faudra, en général, n'employer la pierre qu'après qu'elle aura jeté son eau de carrière, & qu'on aura éprouvé à la gelée celle qui paroîtra susceptible d'en être attaquée.

5.

La pierre la moins dure doit peser environ 150 livres le pied cube, & la plus dure, telle que les grès, granits & les marbres, ou pierres calcaires les plus compactes, jusqu'à environ 180 livres, pour qu'elles puissent résister à la pression à laquelle elles seront exposées, en préférant de placer les

(4)

plus dures jusqu'à la hauteur d'environ 30 degrés d'après les naissances, lorsque les carrières n'en fourniront pas une assez grande quantité pour toute l'arche.

6.

Le citoyen Perronet a fait beaucoup d'expériences, ainsi que feu M. Soufflot, sur la dureté des pierres que fournissent les carrières connues en France, pour en écraser des échantillons qui n'avoient que deux pouces en carré & un pouce de hauteur, avec une machine dont la force de pression étoit élevée jusqu'à 30 milliers. Ils ont reconnu que ceux de ces échantillons provenant de la carrière de Saillancourt, près Meulan, qui avoient deux pouces de base en carré, 4 pouces de superficie & un pouce de hauteur, ont supporté un poids moyen de 7,375 livres; ce qui produit pour un pied carré, 265,680 livres.

7.

C'est d'après ces expériences que l'on a entrepris de construire le pont de Neuilly-sur-Seine en cinq arches, chacune de 120 pieds d'ouverture, surbaissées au quart, c'est-à-dire, qu'elles ont ~~40~~³⁰ pieds de hauteur ou de longueur de flèche sous clef.

8.

La partie de l'arc supérieur des arches de ce pont n'a, sur 33 pieds de longueur d'entre la pointe d'une corne de vache à l'autre, qui ont été pratiquées pour l'évasement des têtes de chaque arche, que 6 pouces 9 lignes de longueur de flèche; ce qui donne à connoître que cet

arc faisant partie du cintre primitif, se trouve décrit avec un rayon de 244 pieds de longueur, & que l'épaisseur de la douelle de la clef étant de 18 pouces, les joints de sa coupe, tendant au centre de l'arche, formeront de chaque côté avec la verticale, un angle qui n'a que 10 minutes 21 secondes.

9.

La construction du pont de Neuilly doit faire connoître que la pierre de la qualité de celle dont il est construit, peut résister dans le haut des voûtes à la pression qu'éprouvent les vouffoirs de l'arc dont le rayon est, comme on l'a déjà dit, de 244 pieds, & conséquemment à celui de 250 pieds de longueur qu'auroit l'arche de 500 pieds proposée, vu le peu de différence. Mais il convient d'examiner si les premières retombées ou coussinets de cette même arche, pourront résister à la pression du poids dont ils seront chargés, principalement à cause de celui de la maçonnerie des reins ou tympan des derrières des vouffoirs, la longueur de coupe de ces vouffoirs devant être au moins de 7 pieds.

10.

La superficie de chacun de ces reins, en y comprenant la longueur des vouffoirs, est de 11,671 pieds carrés, déduction faite de 4,322 pieds pour celle des trois œils de pont mentionnés ci-après, *article 85*, que l'on doit y faire de chaque côté de la voûte pour diminuer la masse de la maçonnerie.

En réduisant à un pied , pour la facilité du calcul , l'épaisseur de cette maçonnerie , son poids à raison de 152 livres le pied cube , s'élèvera à 1,773,992 livres que soutiendront les premiers vouffoirs ou retombées de 7 pieds de longueur , dont la résistance , pour un pied de largeur seulement , fera , comme on l'a dit ci-devant , de 265,680 liv. & pour les 7 pieds de la longueur de coupe de ces premières retombées , de 1,959,760 livres ; ce qui excédera de 185,768 livres la charge de la maçonnerie de chacun des reins de la voûte , pour le cas de l'équilibre seulement.

On doit observer qu'un gros quartier de pierre , tels que ceux qui formeront les premières retombées de 18 pouces de hauteur , doit résister sous la pression beaucoup plus en raison de sa masse , que n'ont pu le faire les petits échantillons de pierre de 2 pouces en carré sur un pouce de hauteur , qui ont été mis en expérience sous la charge ; car , on doit remarquer que ces petits échantillons & même de plus gros , se trouvant renfermés dans un gros bloc de pierre , comme dans une caisse , auront beaucoup plus de force pour porter une plus grande charge , puisque l'on fait que l'eau même devient incompressible , étant contenue dans une sphère creuse , faite en or. On ne pense cependant pas que des corps solides , tels que la pierre , ne soient susceptibles de quelque compression à raison de sa porosité & de l'eau de carrière qu'elle peut contenir ;

mais cette pression ne doit pas être sensible pour de la pierre sèche & de la qualité de celle dont il est question.

13.

On doit encore observer ici que les voussoirs supérieurs se trouveront d'autant moins comprimés, qu'ils seront plus élevés en s'approchant de la clef; & aussi qu'une partie de la maçonnerie de chaque tympan, en s'appuyant sur les entailles faites de niveau & par redans, à différente hauteur dans le rocher servant de culées, diminuera d'autant sa charge contre ces voussoirs. Ce sont ces réflexions qui paroissent établir la possibilité de faire solidement une arche en plein cintre de 500 pieds d'ouverture, & encore plus lorsqu'on pourra y employer de la pierre plus dure que celle de Saillancourt, mentionnée ci-devant. On va rapporter plusieurs expériences à l'appui de ce qu'on vient d'avancer.

14.

Deux échantillons de grès, chacun des mêmes dimensions que ceux dont il a été question ci-dessus *article 6*, pris au Banc royal dans la forêt de Fontainebleau, dont le poids du pied cube n'est que de 150 livres, ont été chargés de 23,050 livres, poids moyen, pour les écraser, au lieu de 7,375 livres mentionnées au même article. Deux autres échantillons de grès, provenant du rocher de Saint-Germain, de la même forêt, ont été chargés de 29,530 livres, le poids étant de 164 livres le pied cube; en sorte que la première espèce de grès avoit plus du triple de force

(8)

que la pierre de Saillancourt , quoique d'une moindre pesanteur , & la seconde du quadruple , avec un excédant de poids seulement de 12 livres , qui ne fait à peu-près que le douzième de celui de la pierre de Saillancourt.

15.

Deux échantillons de même base que les précédens , de la pierre de Langeac en Auvergne , dont la hauteur étoit de 3 pouces , & le poids du pied cube de 174 livres , ont supporté une charge de 19,010 livres : mais cette charge s'est trouvée réduite pour de semblables échantillons qui avoient encore leur eau de carrière , à 14,530 livres.

16.

Deux pareils échantillons provenant d'un volcan de la même province , du poids de 151 livres le pied cube , ont supporté une charge de 19,970 livres & de 20,610 livres , ce qui donne moyennement 20,290 livres ; mais deux autres aussi de lave , du poids de 139 livres le pied cube , n'ont supporté de poids moyen que 11,090 livres.

17.

Ces expériences font connoître que la résistance de la pierre n'est pas toujours en raison de son poids , mais qu'il y influe plus généralement ; ce qui doit obliger un ingénieur chargé de pareils grands travaux , à faire une étude particulière de la pierre qu'il conviendra d'y employer pour être assuré du succès , ayant aussi l'attention de ne pas la poser en lit , quoiqu'elle puisse porter un plus grand poids d'après
les

les expériences que nous en avons faites ; mais elle est pour lors sujette à s'exfolier à ses paremens.

18.

Quand la résistance de la pierre que l'on fera obligé d'employer, approchera trop près de l'équilibre avec la charge, il conviendra de faire des bossages ou des refends à chaque assise, pour l'empêcher de s'épaufrer sous une compression qui arriveroit trop près de ses paremens, afin de la porter plus avant dans la pierre, comme il est dit *article 94*. C'est vraisemblablement pour ce même motif, que l'on a pratiqué à d'anciens monumens ces bossages & ces refends ; mais ils ne sont présentement plus employés que comme variété dans la décoration de l'architecture des bâtimens moins élevés.

On peut aussi suppléer au moyen que l'on vient d'indiquer pour ce qui concerne la solidité, en ne fichant & ne mettant du mortier sur le lit des pierres, que jusqu'à quelques pouces de leur parement ; le vide qui reste est garni d'étoupes qui empêchent le mortier de sortir : on retire ces étoupes après que le tassement s'est fait sur le mortier ; & les joints qui restent pour lors vides, sont garnis en ciment, après avoir retailé & ragréé les paremens à la fin des ouvrages. Cette attention qui se pratique généralement dans les travaux publics, empêche également la pierre de s'épaufrer à ses paremens, parce qu'ils ne participent point au tassement qui se fait entièrement sur le reste du lit des pierres.

SECTION II.

Composition des Cintres de charpente, & le moyen de les élever.

19.

L'ARCHE de 90 pieds de Nogent-sur-Seine, celle de 96 pieds du milieu du pont de la Liberté, celles de 120 pieds de Mantes & de Neuilly, ont été faites sur des cintres retrouffés qui ne sont appuyés que contre les culées & les piles; mais lorsque ces arches se trouvent plus grandes, telle que celle de 150 pieds, projetée en portion d'arc pour Melun, dont la flèche est de 10 pieds de longueur, & celle de pareille ouverture, nommée le *pont de Lavour*, de 67 pieds de montée, faite dans la ci-devant province du Langudoc, les cintres ont besoin alors d'être soutenus, soit par de forts pieux, ainsi qu'on doit le faire à Melun, sur trois rangs placés au milieu perpendiculairement aux têtes, espacés à 4 pieds en tout sens, de milieu en milieu; soit sur des piliers ou des arcades de maçonnerie ou de briques, comme on l'a fait au pont de Lavour, quoique sans nécessité, parce qu'on pouvoit également y substituer des files de gros pieux bien moisés & liés entr'eux, en les couronnant de chapeaux pour porter les fermes des cintres.

20.

Pour établir les cintres d'une arche de 500 pieds, demi-circulaire, sur une vallée dont la profondeur auroit au

moins 250 pieds, & feroit bordée de rochers escarpés qui lui serviroient de culées, il conviendra d'élever provisoirement six piles en pierre de taille ou libages débrutis, maçonnées avec mortier de chaux & sable, lesquelles pourront être démolies en tout ou partie, si on le trouve convenable, après la construction de l'arche, pour que les matériaux qui en proviendront puissent être employés aux murs d'épaulement & pilastres, ainsi qu'aux œils de pont & aux trompes en tour creusée sur l'angle, dont il sera parlé ci-après, & à la maçonnerie des reins.

La profondeur de la vallée qui doit être égale à la hauteur de cette arche, la rendroit plus élevée d'environ 48 pieds que les tours Notre-dame de Paris, & de 120 pieds que le Panthéon de Rome, monument d'architecture le plus hardi qu'ayent fait les Romains, dont la hauteur de la voûte n'est cependant que de 134 pieds au-dessus du pavé, & le diamètre de pareille dimension.

21.

Les quatre piles les plus élevées seroient espacées à 100 pieds, de milieu en milieu; elles auroient 10 pieds d'épaisseur au sommet. Les deux dernières piles ne seroient éloignées que de 50 pieds du parement des culées, & de pareille distance du milieu des piles précédentes; leur épaisseur seroit réduite à 8 pieds dans le haut: elles auroient toutes 60 pieds de longueur, & seroient élevées avec talus de 4 lignes par pied de hauteur au-dessus de leur retraite ou empattement du bas; le tout fondé sur le rocher ou autre terrain très-solide. On arrondiroit en demi-cercle leur

avant-bec seulement, jusqu'à la hauteur des plus grandes eaux.

22.

D'après la gravure ci-jointe, les piles du milieu auroient chacune 200 pieds de hauteur, les moyennes 165 pieds, & les plus basses 100 pieds; on réserveroit dans le milieu de leur longueur, une ouverture de 4 pieds & de 8 pieds de hauteur au-dessus des échafauds mentionnés ci-après, pour servir de passage aux ouvriers & aux matériaux d'un côté à l'autre des piles.

23.

Pour faciliter cette construction, on établira quatre échafauds, espacés à 50 pieds au-dessus les uns des autres, qui serviront d'étrépillons contre le déversement des piles. Le dernier échafaud servira de pont provisionnel, pour lever les cintres & construire la voûte depuis l'angle de 30 degrés ou environ de part & d'autre des naissances, jusqu'auquel angle on fait que les voussoirs pourront être posés avec plus de facilité, au moyen de ce qu'ils ne glissent point les uns sur les autres.

On posera sous le milieu de chaque poutrelle des échafauds d'entre les piles les plus élevées, un ou deux rangs de forts poteaux qui monteront de fond, lesquels seront entés & moisés au milieu de leur hauteur; ils seront posés sur des semelles par bas & coiffés d'un chapeau: on assemblera haut & bas des liens en contre-fiches de chaque côté de ces poteaux.

On établira aussi de petits échafauds verticaux au pourtour

des piles, pour en élever la maçonnerie jusqu'à la hauteur de chaque échafaud supérieur; après quoi ils seront démontés & reposés successivement pour remplir la même fonction, de 50 en 50 pieds de hauteur.

24.

On fait d'ailleurs que l'angle des frottemens est, pour les corps polis, d'après les expériences de M. Amontons, de 18 degrés 26 à 27 minutes, calculés par M. Parent dans son *Mémoire de l'académie des sciences de l'année 1699*. Cet angle se réduit pour les grosses masses, telles que celle des vaisseaux qu'on lance à la mer sur des plans inclinés, à 4 ou 5 degrés; mais il est de 44 degrés pour une pierre brute que l'on veut faire glisser sur un madrier seulement scié, sans être raboté; ce qui fait encore connoître que l'on peut élever les voûtes avec facilité sans cintre, sur les 30 premiers degrés à partir de la naissance, & même jusqu'à 45 degrés, en soutenant un peu les voussoirs de dessus pendant leur pose (*).

25.

Les fermes seront composées de sept cours d'arbalétriers, chacun de 18 à 21 pouces de grosseur, & de 21 à 24 pieds de longueur: ceux du milieu & les deux premiers du bas, seront posés jointivement à redans avec ceux du dessus.

(*) Voyez le Mémoire lu à l'académie des sciences par le citoyen Perronet, sur l'éboulement des portions de montagnes & autres terrains élevés, que l'on trouve dans le supplément de ses ouvrages, page 9.

Ces redans auront 3 pouces de profondeur & 6 lignes de jeu entr'eux, pour y chasser des coins de part & d'autre : leur entaille sera faite en queue d'hironde, ainsi que Grubmann l'a pratiqué avec le plus grand succès au pont de Wettenguen, pour une arche ou travée de charpente de 185 pieds d'ouverture & de 28 pieds de flèche.

Les autres arbalétriers seront posés triangulairement, moisés à chaque bout & au milieu de leur longueur avec des pièces de même grosseur que ces arbalétriers ; le tout retenu ensemble par des boulons de fer de deux pouces de diamètre, ayant leurs têtes, écroues, rondelles & clavettes convenables. Ces pièces, qu'on nomme *moises pendantes*, seront toutes dirigées au centre de l'arche. Sur le dessus du dernier rang d'arbalétriers, on posera des vaux ou pièces courbées d'après l'épure de la voûte.

Chaque bout des arbalétriers sera fait en portion d'arc décrite avec un rayon de la longueur de l'arbalétrier, & assemblé avec les moises, sablières & jambes de force dans une entaille de même courbure, à un pied au-dessous des arbalétriers supérieurs. On donnera à cette entaille un peu de jeu au haut & au bas, pour faciliter le mouvement que prennent nécessairement les cintres en remontant, lorsqu'on les charge du bas, & en descendant, à mesure que la charge devient plus considérable, jusqu'à ce qu'on ait posé les clefs ;

mais pour diminuer le rehaussement des cintres, on doit avoir l'attention de charger leur sommet à mesure qu'il s'élève, avec un certain nombre de cours de vouffoirs taillés & prêts à poser au haut de la voûte. Cette charge a été portée à chacune des arches du pont de Neuilly, jusqu'à 930 milliers. Les fermes étoient espacées à 6 pieds de milieu en milieu, & composées de quatre cours d'arbaliétriers, ayant depuis 19 jusqu'à 23 pieds de longueur, & 14 à 17 pouces de grosseur : elles ont baissé de 13 pouces jusqu'au moment de la pose de la clef, & de 9 pouces 6 lignes après cette pose ; ce qui fait en total 22 pouces 6 lignes dont elles avoient été surhaussées, d'après la courbure qu'on désiroit leur faire prendre.

29.

Le cintre de l'arche de 500 pieds & de 30 pieds de largeur, sera composé de six fermes, dont le milieu des premières sera placé à deux pieds du nu de chaque tête ; ce qui donnera à-peu-près cinq pieds 3 pouces pour l'espacement des autres fermes de milieu en milieu, & 2 pieds seulement pour la charge de chacune de celle des têtes.

30.

Indépendamment des moises pendantes mentionnées ci-devant, on en posera d'horizontales de 9 à 18 pouces de grosseur, à la distance de deux de ces moises ; observant d'en mettre un court dans le bas des fermes, & l'autre alternativement au haut des mêmes fermes, & de plus des cours de liernes horizontales de 8 à 9 pouces de grosseur,

placées au milieu de l'espace d'entre les moises horizontales. Toutes ces moises & liernes seront d'une seule pièce sur leur longueur, entaillées & boulonnées au droit des moises & des arbalétriers.

31.

On posera aussi des cours de guettes ou contre-vents de 8 à 9 pouces de grosseur dans les fermes, pour s'opposer en sens contraire à leur déversement.

32.

Malgré cette précaution qui est essentielle, sur-tout pour les grandes arches, on élèvera la partie des piles qui faillira de 15 pieds de nu de chaque tête, sur une longueur seulement de 10 pieds jusqu'à 5 pieds de l'à-plomb du nu des têtes de l'arche, cet espace devant être réservé pour faciliter la pose des premières fermes. L'élévation sera faite à-plomb jusqu'à la hauteur du dessus des fermes, & servira à les contre-venter, avec des étré sillons qui viendront s'appuyer contre l'exhaussement des piles.

33.

Les fermes seront soutenues par ces piles, au moyen de la prolongation des moises & des pièces en décharge, lesquelles dernières pièces auront 15 pouces de grosseur en carré, ainsi que les jambes de force qui seront appliquées contre les piles. On observera de placer des bossages servant d'épaulement aux endroits nécessaires, pour assujettir ces jambes de force dans une position verticale, & aussi des encorbellemens de deux assises de pierre sous les parties des
jambes

jambes de force qui seront interrompues dans leur hauteur ; le tout comme cela est figuré sur la gravure à laquelle on renvoie , afin de ne pas entrer dans des détails trop minutieux , tant pour la manière dont les piles précédentes doivent supporter les cintres , que pour les autres piles , les personnes intelligentes n'ayant d'ailleurs pas besoin de pareils éclaircissements.

34.

Les liens en contre-fiche qui seront destinés à soutenir le dernier pont de service , s'assembleront dans le haut avec les sous-poutrelles du pont , & par bas dans les jambes de force. Ils seront moisés vers le milieu de leur longueur , & ne participeront point , non plus que le pont , au soutien des fermes.

35.

On observera seulement ici, que l'on doit doubler jointivement sur leur hauteur les poutrelles du pont de service , pour qu'elles ne soient pas trop affoiblies par les entailles du dessus & du dessous de ces pièces. On leur donnera 12 pouces de large & 15 pouces de haut ; le rang supérieur sera composé de deux poutrelles d'égale longueur , soutenues à leur jonction dans leur milieu par les poteaux de fond mentionnés *art. 23.*

36.

Le second rang des poutrelles des ponts de service , sera composé de trois pièces de longueur égale entr'elles , pour que le joint du milieu du cours supérieur se trouve recouvert.

On les assemblera toutes en recouvrement avec trait de jupiter à leur bout, & on les boulonnera de 10 pieds en 10 pieds avec boulons de fer de 18 lignes de diamètre, pour fixer les deux cours de poutrelles ensemble.

37.

Pour que l'on soit plus assuré de la résistance des fermes, il est nécessaire d'examiner quelle sera la force des parties qui doivent les composer, & aussi des pièces à placer sur les points d'appui pour les soutenir, relativement au poids dont elles seront chargées, en supposant que les bois soient tous de chêne.

38.

On remarquera premièrement, que la partie de 100 pieds d'entre les deux points d'appui du milieu, est celle de la voûte qui se trouvant la moins inclinée à l'horizon, chargera le plus directement les fermes.

39.

Cette partie dont les vouffoirs doivent avoir 7 pieds de longueur de coupe & 5 pieds 3 pouces de large, distance du milieu d'une ferme à l'autre, pèsera 661,500 liv. en supposant la pierre du poids de 180 livres le pied cube, afin que les cintres se trouvent assez forts lorsqu'on pourra employer de la pierre plus dure que celle de Saillancourt, qui ne pèse que 152 livres.

40.

Les sept arbalétriers d'entre les moises pendantes, distantes

l'une de l'autre d'environ 12 pieds du dessous de cette même partie de voûte , peuvent être considérés comme étant chargés verticalement dans leur milieu.

41.

Ces pièces comprises entre deux moises pendantes & chargées dans leur milieu pourront résister , chacune dans le cas de l'équilibre , à un poids de près de 388 milliers d'après les expériences de feu M. de Buffon , rapportées dans les mémoires de l'Académie des Sciences, de 1741 , qui a reconnu que, pour qu'une pièce de 14 pieds de long & 5 pouces de grosseur en carré, fût rompue , il avoit fallu la charger du poids de 5283 livres, en établissant aussi d'après les mécaniciens , que la résistance des pièces ainsi posées de niveau , doit être dans la raison du carré de leur hauteur , multiplié par leur largeur , & de l'inverse de leur longueur.

42.

Ce poids de 388 milliers doit être réduit à 97 milliers , ou si l'on veut à 100 milliers , faisant à peu-près le quart de la force totale d'une de ces pièces , pour qu'elles ne puissent pas plier sensiblement.

43.

Il faut observer que les deux arbalétriers du dessous & le cours du milieu , qui doivent être assemblés à redan jointivement & boulonnés avec celui du dessus , auront dans la raison du carré des hauteurs , une force quadruple , laquelle tiendra lieu de quatre arbalétriers de plus qui seroient isolés :

ils porteront le nombre total de chaque partie des fermes à la résistance de onze arbalétriers, au lieu de sept qui sont figurés sur la gravure; & à 1,100,000 livres pour la résistance entière, au lieu de 661,500 livres que doit peser la partie de voûte correspondante.

44.

On fait aussi que les pièces horizontales peuvent être chargées à peu-près du double du poids qu'elles porteront dans leur milieu pour les rompre, en distribuant ce poids également sur toute leur longueur, comme doivent l'être les arbalétriers par les vouffoirs qu'ils ont à soutenir; & cela se trouve confirmé par les expériences que nous en avons fait faire: ce qui fortifiera encore les fermes dans la même proportion du double, & élèvera leur résistance à 2,200,000 livres. Elles seront aussi soutenues à chaque bout jusque près des quatrièmes piles, par des parties semblables & presque horizontales, qui auront la même force.

45.

Ces pièces horizontales auront aussi beaucoup de force pour résister par leur bout dans la direction de la longueur de leurs fibres, qui est la résistance principale qu'on a voulu leur donner, & qu'il est aisé de remarquer par la manière dont ces fermes sont composées.

46.

Si l'on veut considérer quelle seroit cette force longitudinale de chacun des arbalétriers, d'après les expériences

rapportées par Muschembroeck dans son Essai de Physique (page 256), pour le cas de l'équilibre avec sa résistance, & aussi que cette force doit être établie dans la raison directe du cube de la grosseur du bois, ou bien du carré du petit côté qui doit plier, multiplié par l'autre côté, & ensuite par l'inverse du carré de leur longueur, en comptant le pied rhénant dont s'est servi Muschembroeck, pour 11 pouces 7 lignes du pied-de-roi, & la livre pour 14 onces, poids de marc; on peut en conclure, au défaut d'expériences semblables faites plus en grand, qu'une pièce de bois de chêne de 6 pieds de long & de 6 pouces de gros en carré, portera 23,418 livres.

47.

Il résulte que la partie d'un arbalétrier de 12 pieds de longueur, à laquelle il doit être réduit pour la distance d'une moise à l'autre, & de 18 à 21 pouces de grosseur, aura une force de 92,200 livres, étant évaluée à moitié au lieu du quart de la réduction qu'il est nécessaire d'observer pour des pièces horizontales, ainsi qu'il est dit ci-devant, pour qu'elles ne puissent pas plier sensiblement; & les sept arbalétriers ensemble résisteront à un poids de 645,400 livres, sans avoir égard à la position jointive des deux arbalétriers du dessous, parce qu'ils n'augmentent point la force, étant comprimés à leurs bouts, comme lorsqu'ils sont chargés dans une position horizontale par le dessus; mais on n'aura point d'égard à cette force qui se répète & se contrebutte, en se détruisant par sa réaction sur chaque partie des arbalétriers d'une moise à l'autre.

On voit que d'après cette manière de considérer la résistance des bois, ils auroient encore assez de force pour porter une égale partie d'environ 100 pieds de longueur de la voûte qui se trouve de chaque côté de celle du milieu, jusqu'aux points d'appui qui les précèdent; puisque la partie du haut des cintres sera du double & même du quadruple plus forte qu'il ne faudra, d'après les calculs que l'on vient d'en donner, joint à ce que ces parties de voûte pèseront d'autant moins verticalement, en se rapprochant des culées par l'obliquité de leur courbure, qu'elles reporteront une partie de leurs poids contre les culées. Cependant il y auroit encore moyen de fortifier ces mêmes parties de cintre, dans le rapport de 7 à 10, en doublant jointivement les trois arbalétriers que l'on a supposé devoir rester isolés.

On remarquera, d'après ce qui vient d'être dit, que l'on pourroit tirer deux résistances d'une même pièce de bois; l'une, en la chargeant dans une position horizontale, l'autre en la comprimant en même temps suivant la longueur de ses fibres. On observera de réduire les poids, pour que cette pièce ne puisse plier sous ces différens efforts, qui ne se détruisent pas, étant perpendiculaires l'un à l'autre.

Cette manière de considérer toute la force d'une même pièce de bois, n'a pas encore été envisagée, quoique l'on puisse en trouver l'application en mécanique.

50.

La partie d'un couchis du haut de la voûte, de 8 pouces de grosseur & de 5 pieds 3 pouces de longueur, milieu d'une ferme à l'autre, étant réduite au quart de sa force, comme doivent l'être les pièces horizontales qui sont chargées verticalement, pourroit porter un poids de 14,225 livres; mais la partie des voussoirs qu'elle soutiendra, ne pèsera au plus que dix milliers.

51.

Il suffira que les couchis du bas de la voûte ayent 6 pouces de grosseur jusqu'à la hauteur au plus de l'angle de 45 degrés, & ils seront encore assez forts, parce que les voussoirs se trouvent soulagés d'une grande partie de leur poids par ceux du dessous. Ces couchis ne sont principalement utiles vers les naissances, ainsi que leurs cales, que pour empêcher les fermes d'être repoussées contre la voûte à mesure que l'on vient à les charger.

52.

On doit présentement examiner sommairement la force des pièces de 15 pouces en carré, qui serviront à décharger sur les points d'appui, la partie des fermes & de la voûte correspondante aux quatre piles du milieu, dont la distance verticale est de 300 pieds.

53.

Ces pièces au nombre de 22, pourront porter chacune dans une position verticale, environ 70 milliers sans plier; mais l'on fait qu'étant inclinées, la force qu'elles perdront

encore, se trouvant dans le rapport du sinus total au cosinus de l'angle d'inclinaison que formera la direction verticale de la charge avec les pièces inclinées, sera de trois dixièmes; ce qui réduira environ à 21 milliers la force de chacune de ces 22 pièces, & en total à 462 milliers qui, joints aux 2,200,000 livres mentionnées *article 44*, porteront la résistance totale des cintres & de leurs décharges à environ 2,662,000 livres.

54.

La circonférence moyenne de la demi-voûte qui passera par le milieu de la longueur des vouffoirs, sera de 896 pieds, leur longueur de 7 pieds, & la distance du milieu d'une ferme à l'autre, de 5 pieds 3 pouces; ce qui produit 32,928 pieds cubes, lesquels sur le pied de 180 livres, donneront pour poids total de la partie de la demi-voûte que supportera chaque ferme d'entre celle des têtes, 5,927,040 livres.

55.

Il faut remarquer que d'après le calcul de M. Couplet, que l'on trouve dans les Mémoires de l'Académie des Sciences de l'année 1729, en supposant, comme il l'a fait, que les lits de la coupe des vouffoirs sont polis, la charge d'une voûte en plein cintre se trouve réduite aux quatre neuvièmes, sur les fermes du cintre, & encore moins des quatre neuvièmes pour ce qui se pratique dans la construction des voûtes, dont les lits des vouffoirs sont bruts & ne doivent pas tendre à porter autant sur les fermes que s'ils étoient polis; ce qui revient à peu-près, suivant l'hypothèse
de

de M. Couplet, au résultat de la formule qu'a donnée M. Delahyre, qui n'a considéré que la partie de la voûte qui se trouve au dessus de 45 degrés de chaque côté de sa naissance, pour celle qui doit charger les cintres après la pose des clefs, & reporter la poussée totale vers les culées; mais cette partie forme la moitié de la voûte & se trouve, à un huitième près, égale aux quatre neuvièmes de M. Couplet.

56.

Ces quatre neuvièmes réduiront à 2,634,240 livres les 5,927,040 livres trouvées ci-devant *article 54*, pour poids total de la partie de voûte de 500 pieds d'ouverture, au lieu de 2,662,000 livres que donne la résistance de chaque ferme & de leurs décharges, suivant l'*article 53*, ce qui rend cette résistance encore plus forte de 22,760 livres.

57.

On ne doit pas s'attendre que le calcul sur la force des bois des fermes & de leurs décharges, ait été fait avec la même facilité & exactitude que l'on auroit pu apporter pour une arche ordinaire, telle que celle de 60 pieds en plein cintre, & 80 pieds surbaissée, dont M. Pitot a examiné dans le mémoire qu'il a remis à l'académie des sciences, en 1726, la force qu'il faut donner aux cintres des arches pour des voûtes que l'on considéroit alors comme grandes, d'après la qualification même de M. Pitot; mais on ne s'est proposé, ainsi qu'on l'a déjà dit, que d'exposer ce que l'on pense sur la recherche des moyens d'établir de plus grandes arches.

Les personnes qui s'occuperont de la perfection de ces moyens, doivent avoir égard dans leurs calculs, à la nature des bois qui pourront être employés aux cintres: s'ils étoient de sapin, leur résistance, étant chargés debout, devroit être réduite dans le rapport de 12 trois cinquièmes à 9 deux cinquièmes, ou à peu-près du quart, suivant les observations de M. de Buffon dans son mémoire mentionné ci-devant; ce qui obligerait alors de fortifier convenablement la grosseur des bois des cintres, ou bien de leur ajouter une septième ferme.

Si ces mêmes bois doivent être chargés étant posés horizontalement, M. Parent a établi par son mémoire imprimé dans ceux de l'académie des sciences de 1707, qu'ils pourroient porter un cinquième de plus que le bois de chêne; on prétend d'ailleurs qu'ils cassent sans plier autant que le fait le chêne. Ces différences dépendent vraisemblablement de la configuration des fibres ligneuses des deux espèces de bois, & de celle de leur élasticité, qui est plus grande dans le bois de chêne.

La courbure de l'ételon ou tracé des fermes sur le chantier, sera surhaussée de 8 pieds d'après les mesures mentionnées ci-devant, en lui donnant une forme ovale dont le petit diamètre sera toujours de 500 pieds, & la moitié du grand diamètre placé verticalement, de 258 pieds.

C'est à ce surhaussement de 8 pieds, que l'on évalue que pourra se faire le tassement total des fermes, dont environ moitié ou les deux tiers avant la pose des clefs, & le surplus ensuite par le reste de la compression du mortier des joints.

Ces joints, au lieu de 6 lignes qu'on leur donnera, pourront être réduits par la compression, à 5 lignes dans les deux tiers de la partie supérieure de la voûte, en y employant du mortier de chaux & ciment.

A l'égard des parties du dessus des naissances jusqu'à la hauteur de l'angle de 30 degrés de chaque côté, qui formeront un tiers de la voûte, on pourra y employer du mortier de chaux & sable graveleux, à cause de la difficulté que l'on auroit dans des endroits qui pourroient être éloignés des habitations, d'y rassembler une assez grande quantité de ciment, à moins qu'il ne se trouvât aux environs, des montagnes volcanisées qui fourniroient une espèce de pouzzolane qu'il faudroit même préférer au ciment.

Pour diminuer encore plus le tassement de la compression des joints de ces mêmes parties de voûte, comme elles peuvent être presque faites sans le secours des cintres, ainsi qu'on l'a déjà dit, il conviendra de les commencer pendant qu'on préparera les bois des cintres, & de laisser un intervalle

d'un an avant de continuer la pose des vouffoirs des parties supérieures, afin de donner au mortier des joints le temps de s'affermir & de résister à la compression. On pourra dans cet intervalle, préparer les autres vouffoirs & les faire approcher de l'arche, ainsi que les bois des cintres & ceux destinés à les fortifier par-dessous, qui auront leurs points d'appui sur les piles de maçonnerie.

64.

Le gâcheur ou maître charpentier aura l'attention de ne fixer la longueur de ces dernières pièces du dessus des plus hautes piles, que quand on s'apercevra que les fermes auront besoin d'être fortifiées par le dessous à cause d'une trop grande charge de vouffoirs; ce qui facilitera le décintrément dont il sera parlé ci-après.

65.

On tracera sur l'épure de la demi-voûte la coupe de chaque vouffoir, en lui supposant l'épaisseur de douelle que les bancs de carrière des environs du lieu où devra être construite l'arche, pourront permettre de lui donner, en tâchant, s'il se peut, que cette épaisseur ne soit pas moindre de 18 pouces.

66.

Le charpentier tracera sur le cintre le milieu de l'emplacement de chaque vouffoir, & y posera dans le vide de 2 pieds qui aura été réservé entre le dessus des fermes & la voûte, des couchis de 8 pouces en carré sur les deux tiers du haut de la voûte, & de 6 pouces au-dessous. On posera

en même temps les calles qui doivent soutenir les couchis, en les faisant de plusieurs pièces que l'on puisse ruiner lors du décintrement. Ces couchis auront chacun 28 pieds de long, & seront posés d'équerre sur les têtes de l'arche; mais on ne déterminera définitivement leur emplacement, qu'à mesure de la pose de chaque cours de voussairs.

67.

Les voussairs des têtes seront posés avec un quart-de-cercle, & d'après des tables calculées de leur distance aux lignes verticales qui seront tracées sur les cintres à 50 pieds les unes des autres, & à une ligne horizontale que l'on établira pour cet effet contre des poteaux qui seront élevés sur le pont de service. On y emploiera des niveaux à lunette, placés à chaque bout de l'arche sur le rocher ou autre point fixe. Les extrémités de la ligne horizontale seront établies d'après de pareils points fixes, pour savoir de combien se feront abaissées les fermes au droit de la prolongation de l'axe du milieu des points d'appui, afin de connoître l'affaïssement de ces fermes sous la charge des voussairs. On pourra d'ailleurs avoir recours aux éclaircissemens qui sont donnés à ce sujet dans l'œuvre *in-fol.* du citoyen Perronet, auquel on renvoie également pour des détails que l'on ne donnera pas ici sur la pose des fermes, celle de la pierre, & le décintrement des ponts.

68.

En finissant cette section, nous observerons que l'on pourroit supprimer les parties inférieures des fermes jusqu'à

la hauteur de 25 ou 30 degrés, en établissant le surplus sur de petits arcs, comme l'indique la gravure par un papier de retombée, lesquels arcs seroient supprimés après le décintrement de l'arche.

S E C T I O N I I I.

Décintrement.

69.

IL y a une grande différence dans la manière de décintrer les ponts qui sont établis sur des fermes retroussées, ainsi que cela a eu lieu au pont de Neuilly, de celle qu'on doit employer lorsque les fermes sont soutenues sur des points d'appui entre leurs culées. Dans le premier cas, les fermes, en s'affaissant sous la charge des voussoirs, conservent par l'élasticité des bois, une courbure régulière de même genre que celle de l'ételon ou de l'épure; mais des points d'appui intermédiaires & inflexibles la corromproient nécessairement, en formant ce que l'on nomme des *jarrets* ou changemens de courbure au droit de chacun de ces points d'appui; ce qui seroit autant désagréable que dangereux pour les grandes arches. C'est pourquoi on est obligé de prendre des précautions différentes de celles dont on a usé jusqu'à présent, pour le décintrement de l'arche dont il est ici question.

70.

Chaque partie des fermes, en s'affaissant sous son propre poids & successivement sous celui des voussoirs dont elle fera

chargée, le fera verticalement, abstraction faite de la résistance des points d'appui, en suivant la proportion de la partie des ordonnées verticales d'entre la courbure demi-circulaire & celle de forme ovale, qui seront tracées sur l'ételon; mais quand cet affaissement seroit différent des 8 pieds dont le demi-cercle aura été relevé, il suivra toujours la proportion de ces mêmes ordonnées, en formant une autre courbure régulière qui se termineroit à zéro aux naissances.

71.

Il suit de cette observation & des précédentes, que pour que la courbure ne fasse point de jarret, il faudra tâcher de faire descendre les fermes au droit de chaque point d'appui, dans la proportion du résultat moyen de ces ordonnées, & de celui dont il est parlé précédemment *article 67.*

72.

On présume que l'affaissement total des fermes sera, comme à la clef, sur l'axe de chacune des deux piles du milieu, à peu-près de 8 pieds, de 5 pieds aux piles intermédiaires, & de 4 pieds sur celles qui seront les plus proches des culées; mais comme on pense que la moitié du tassement total se fera par la surcharge des bois des fermes & celle des voussoirs qui seront posés jusqu'à la hauteur d'un angle de 30 degrés, il ne restera, lors du décintrement total de la voûte, à faire baisser les fermes sur la partie inférieure du cintre qui les soutiendra, que d'environ la moitié de leur surhaussement. C'est d'ailleurs pour plus de

sûreté, qu'on le règlera d'après ce qui sera arrivé lorsque la voûte se trouvera élevée jusqu'au droit de l'axe des différens points d'appui.

73.

Pour faciliter les différens tassemens & le décintrement des fermes, que l'on a intérêt de proportionner au tassement total qui doit arriver sur chaque point d'appui, afin que l'arche puisse conserver la courbure qu'elle doit avoir dans les différens temps de sa construction, on fera scier & ruiner en même temps en parties égales avec la scie, le ciseau & le maillet, une tranche pyramidale de quelques pouces, de la partie inférieure de toutes les pièces qui doivent servir à fortifier le cintre en charpente, & cela successivement & à mesure qu'on en reconnoîtra la nécessité. Ces parties seront proportionnées pour chaque point d'appui, au tassement total qui doit lui correspondre; c'est-à-dire, qu'en le supposant, comme on l'a fait ci devant *article 72*, de 4 pieds à ceux du milieu de l'arche, 3 pieds aux suivans, & de 2 pieds à ceux les plus proches des culées; & que l'on entreprenne de les couper en six temps différens, à huit jours de distance l'un de l'autre, chaque partie sera de 8 pouces pour les premiers points d'appui, de 6 pouces aux suivans, & de 4 pouces aux derniers. C'est par ces derniers que l'on commencera ces retranchemens, en montant ensuite aux autres, le tout plus ou moins, suivant la nécessité, en observant essentiellement de ne faire descendre que très-lentement d'aussi grandes masses, pour que leur force, qui n'est que d'inertie dans l'état de repos, ne soit pas changée en

en force vive par la vîtesse que leur donneroit une descente plus prompte, qui deviendrait fort dangereuse.

74.

C'est pour le même motif, qu'il faudra commencer par scier chaque pièce de soutien des fermes dans son pourtour, seulement du quart ou du tiers de son épaisseur, jusqu'à ce que l'on s'aperçoive que la partie qui aura été réservée au milieu, soit menacée d'être écrasée par la charge supérieure. Il sera aussi nécessaire de faire scier ces pièces un peu obliquement sur chaque face, pour que la partie inférieure de leur bout prenne une forme pyramidale qui puisse les empêcher de s'écarter en aucun sens de l'entaille de même forme, que la scie aura faite aux bouts qui resteront au bas de ces mêmes pièces.

Les détails précédens pourront paroître minutieux ; mais ils deviennent nécessaires pour le succès d'une entreprise qui n'a pas encore eu d'exemple.

75.

L'usage ordinaire pour les grandes arches qu'on a faites jusqu'à présent, est d'attendre que les mortiers des joints du haut de la voûte aient acquis assez de consistance, pour que l'on ne puisse pas y introduire la lame du couteau ; ce qui arrive ordinairement avant l'espace d'un mois, suivant que la pierre est plus ou moins dure & poreuse pour absorber la partie la plus liquide de la chaux : mais on pense qu'il sera prudent d'attendre six ou huit mois, avant d'entreprendre de décintrer l'arche de 500 pieds, afin de donner plus de temps au mortier de prendre corps, & pour diminuer aussi

l'affaïssement qui doit nécessairement résulter de la compression des joints.

76.

Pour faciliter le décintrement des fermes, après avoir dégagé le bas de leurs points d'appui, comme on vient de l'expliquer *article 73*, on enlèvera les couchis de la voûte ; ce qui sera facile sur la hauteur de l'angle de 30 degrés de chaque côté, & même jusqu'à 45 degrés, parce que les voussours en sont repoussés contre les culées, en s'isolant des fermes par le poids de la partie supérieure de la voûte, qui tend en forme de coin, comme on l'a déjà dit, à renverser les parties inférieures.

77.

On continuera ensuite par le bas à retirer de chaque côté une dizaine de couchis, en ruinant les cales du dessous lorsque cela sera nécessaire ; mais quand on sera arrivé à 25 pieds d'un & d'autre côté de la clef, on placera des étréfillons de 5 à 6 pouces en carré & 2 pieds de longueur, de deux en deux rangs de voussours proche les couchis, entre les fermes & la voûte, avant de les retirer ; ce qui sera fait en même temps de part & d'autre de la clef, & en même nombre chaque jour.

78.

On laissera la voûte un mois dans cet état, pour qu'elle achève de prendre son tassement très-lentement, en repoussant les parties inférieures des fermes dont les couchis & les cales auront été enlevés, & on ruinera successivement les étréfillons d'entre les fermes & la voûte : on commencera également par

un même nombre de chaque côté, en se rapprochant du haut de la voûte, & l'on doit s'attendre que ceux des derniers rangs vers la clef seront écrasés avec beaucoup de bruit, par la charge d'une partie de la voûte. C'est pour lors que les fermes étant déchargées virtuellement de leur plus grand fardeau, après la pose des clefs, remonteront subitement par la force de l'élasticité des bois qui auront été fortement comprimés sous la charge de la voûte dont elles se trouveront isolées.

Cette voûte aura alors la facilité de continuer de s'affaisser, à mesure que les mortiers des joints, principalement ceux de ses parties supérieures, seront plus comprimés, & cela arrivera sur-tout dans les premiers jours; mais il faudra attendre, avant de démonter les fermes, que le tassement soit devenu insensible, pour être en état de retenir la voûte, s'il arrivoit que son affaissement devînt plus considérable qu'on ne l'eût prévu.

79.

On enlèvera ensuite les moises & les liernes horizontales du bas des fermes également, jusqu'à la hauteur de l'angle de 45 degrés, pour les affoiblir peu-à-peu chaque jour par cette opération, & pour qu'une continuation de l'affaissement de la partie supérieure de la voûte, fasse baisser successivement & lentement le sommet des fermes, en les repoussant par le bas dans le vide de deux pieds, dont on aura retiré les couchis & les cales.

80.

Ce ne fera qu'après avoir remarqué que la voûte ne s'affaissera plus sensiblement, & qu'elle reportera toute sa poussée contre les culées, & aussi après qu'on aura terminé les ragré-mens & rejointoiemens en ciment du dessous de la voûte & de ses têtes, que l'on pourra entreprendre d'achever de

démonter & d'enlever les fermes, le pont de service & tous les autres bois qui auront servi à la construction de la voûte.

81.

A l'égard des autres ponts de service ou échafauds servant d'étréfillons contre le dévers des piles, on pourra les enlever à mesure que les parties supérieures de la maçonnerie des piles auront été démolies, ainsi que les petits échafauds verticaux & légers qui seront restés dans la dernière partie du haut de ces piles.

SECTION IV.

Murs d'épauemens & pilastres, trompe sur l'angle en tour creuse, œils de Pont & maçonnerie des reins.

82.

En achevant la démolition des cintres de charpente, on élèvera deux murs d'épauement de 30 pieds de longueur à mesure de la pose des vouffoirs du bas de la voûte, ainsi que des pilastres de 12 pieds de largeur par le haut, sur 6 pieds d'épaisseur, en donnant à ces murs 2 lignes de talus ou fruit par pied de hauteur, & 4 lignes sur le devant & en retour des pilastres.

83.

Pour le soutien & le raccordement des parapets de chaque tête du pont, jusqu'au haut de la partie des murs d'épauement qui joindront chaque pilastre, il sera fait une trompe sur l'angle en tour creuse décrite avec un rayon de

30 pieds de longueur, ainsi qu'à son profil, contre les têtes du pont & le parement des murs d'épaulement depuis l'origine de cette trompe, en observant de faire régner une assise courante de 18 pouces de hauteur sous la plinthe.

84.

Pour faciliter ces constructions, on différera de démonter les échafauds d'entre la dernière pile & la culée, jusqu'à ce que les murs d'épaulement & les pilastres soient élevés à la hauteur du dernier de ces échafauds. On en établira d'autres convenables pour le surplus de leur élévation & des trompes en tour creuse; les mêmes échafauds serviront aux ragréments & rejointoiemens.

85.

Pour diminuer la trop grande charge qu'auroit la maçonnerie des reins sur la voûte, on fera trois œils de pont de forme elliptique de chaque côté de cette voûte.

86.

Le petit axe du plus grand œil sera établi sur la direction d'un angle de 45 degrés de l'arche, & aura 50 pieds de longueur, se terminant par le bout d'en bas à 20 pieds de la douelle du vouffoir correspondant de la voûte. Le plus grand axe qui sera perpendiculaire à l'autre, aura 70 pieds de longueur.

87.

Le grand axe de chacun des deux petits œils de pont, formera un angle de 30 degrés d'après celui mentionné ci-devant; & partant des foyers des petits arcs de sa courbure elliptique, il aura 40 pieds de longueur, & son origine

supérieure se trouvera à 30 pieds de chacun desdits foyers : le petit axe aura 25 pieds. Le tout deviendra symétrique pour chaque côté de la voûte.

88.

On donnera 4 pieds de longueur de coupe aux vouffoirs du grand œil, & 3 seulement à ceux des petits œils. Les vouffoirs du grand œil sailliront de 6 pouces, & ceux des petits œils de 4 pouces, d'après le nu des têtes du pont, pour recouvrir la saillie des bossages des vouffoirs de l'arche. Le tout sera fait d'après les épures qui en seront tracées en grand sur les chantiers par l'apareilleur.

89.

Pour diminuer encore plus la maçonnerie des reins, on la terminera derrière les murs des têtes qui auront 4 pieds d'épaisseur en portion d'arc de cercle, avec un rayon de 60 pieds, ayant pour centre l'extrémité inférieure du petit axe, l'ellipse de chaque grand œil de pont, allant former tangente avec la ligne horizontale d'après laquelle seront arrasés les extrados des têtes; & le surplus jusqu'à cette ligne horizontale, sera garni avec des recoupes de pierre & du gravier ou du sable.

90.

En posant les vouffoirs, on aura l'attention d'en placer qui soient percés cylindriquement, à environ 100 pieds les uns des autres dans la partie du milieu de l'arche, entre les petits œils de pont & à 6 pieds des têtes de chaque côté de l'arche, pour l'écoulement des eaux de pluie qui pénétreront

entre les joints des pavés jusqu'à la chape dont on va parler à l'article suivant.

91.

Cette chape sera faite en ciment ou espèce de pouzzolane, sur 6 pouces d'épaisseur avec du petit caillou ou de la pierre dure cassée, posé par couches, chacune de 2 pouces d'épaisseur sur toute la longueur & largeur de l'arche, en comprimant ces couches pour qu'il ne s'y forme point de gersure. On établira cette chape sur une maçonnerie de moelon & mortier de chaux & sable, dont les pentes du dessus seront dirigées vers les gargouilles.

92.

On ne croit pas nécessaire de détailler ici l'assemblage de deux cintres retrouffés qu'il conviendra d'établir pour la pose des voussiors de chaque partie supérieure de la voûte des œils de pont. On en trouvera des modèles dans l'ouvrage mentionné ci-devant.

93.

Lorsque l'arche aura cessé de s'affaisser, & après que ses têtes auront été dérasées de niveau, on posera une plinthe composée de deux assises, chacune de 18 pouces de hauteur, en saillie d'un pied sur le nu des têtes, & retournées au-dessus des trompes & des pilastres, pour tenir lieu d'un entablement dont les moulures ne seroient point apparentes sur une aussi grande étendue.

94.

Afin de caractériser le local de l'établissement de cette arche entre des rochers, il conviendra de rustiquer la face de

la plinthe , & aussi la tête des cinq vouffoirs du milieu de l'arche , sur des bossages de 3 pouces de saillie ; & après trois vouffoirs unis de chaque côté des précédens , les trois suivans seront faits avec pareils bossages ; & ainsi de suite alternativement , jusqu'au bas de la voûte , en observant de retourner ces bossages sous la voûte , sur 3 & 4 pieds de longueur de douelle. Ils seront prolongés en haut de la voûte , jusque sous la plinthe de couronnement , & ceux des naissances se termineront contre les murs d'épaulemens.

Ces bossages exigeront que les couchis soient entaillés de 3 pouces au moins pour la place qu'ils occuperont dans le haut , à leur rencontre.

95.

Les vouffoirs des ceils de pont seront également rustiqués de deux en deux seulement , & il en sera fait de pareils au parement du pourtour des pilastres.

96.

Sur le cours de la plinthe , on posera des parapets qui se termineront aux pilastres ; ils auront 3 pieds & demi en deux ou trois assises : la dernière formera bahut.

97.

Pour terminer cette arche , il ne restera plus que des bornes demi-rondes à poser , à 15 ou 20 pieds de distance du devant des parapets ; le pavé à faire formant chaussée bombée de 18 pieds de largeur dans le milieu , avec revers de 4 pieds 6 pouces jusqu'au ruisseau qui doit conduire l'eau dans les gargouilles. Ce ruisseau sera continué jusqu'au-delà des culées , dans la partie du dessus des ceils de pont où il ne sera pas posé

posé de gargouilles , le tout sur une pente convenable. On fera enfin l'excavation nécessaire dans la roche , ainsi que les remblais & les chemins des abords de l'arche.

S E C T I O N V.

Arches de 200 pieds , 300 pieds & 400 pieds d'ouverture.

98.

APRÈS avoir proposé les moyens que nous croyons convenables pour construire l'arche de 500 pieds d'ouverture , il reste à parler de ceux qui pourroient être employés à des arches moins grandes.

99.

Si, d'après ce qu'on vient d'expliquer, on doit prendre quelque confiance dans la possibilité d'établir l'arche de 500 pieds d'ouverture, il ne sera pas difficile de concevoir comment on pourra en faire de moins grandes, telles que celles de 400 pieds, 300 pieds & 200 pieds.

100.

Il suffira pour cela de considérer que les naissances de l'arche de 400 pieds d'ouverture, partiroient du niveau du dessus du troisième échafaud, & qu'elle auroit 100 pieds de hauteur ou de longueur de flèche.

La seconde de 300 pieds, seroit établie à la hauteur du quatrième échafaud, & auroit 50 pieds de flèche.

Et la troisième de 200 pieds se trouveroit plus élevée de 30 pieds que cet échafaud; ce qui réduiroit sa hauteur sous clef à 20 pieds, le tout ou à peu-près. Il conviendrait aussi de leur donner 8 à 10 pieds de hauteur de pied-de-roi,

pour diminuer l'apparence de l'angle mixtiligne trop aigu que formeroient les premiers vouffoirs avec un sol horizontal qui partiroit de leur naissance. Toutes ces arches étant formées des segmens supérieurs à leurs cordes, on établiroit les cintres, leurs points d'appui & décharges, convenablement à ce qu'elles exigeroient.

101.

On observera de diminuer la grosseur de tous les bois, en raison de la charge qu'ils auront de moins à porter, & aussi de ne laisser subsister que les seuls petits œils de pont qui sont les plus proches du sommet des voûtes. On réduira la longueur de la coupe des vouffoirs des clefs de l'arche de 400 pieds, à 6 pieds; celle de 300 pieds à 5 pieds, & celle de 200 pieds à 4 pieds; le tout en tâchant d'y employer des pierres plus pesantes & plus dures que celles de la carrière de Saillancourt mentionnées ci devant. On supposera aussi que ces différentes arches seront également appuyées contre les rochers, sur des vallées moins profondes & moins larges que celle de 500 pieds.

102.

Il sera souvent possible de donner moins d'aplatissement à la courbure de ces dernières arches, en faisant partir leur naissance au-dessous des cordes des segmens de la grande arche; & pour lors ces nouvelles courbures en portion d'arc, se trouveront décrites avec des rayons moins grands.

103.

On croit inutile d'entrer dans un plus grand détail sur la construction de ces arches de moindre grandeur; mais il ne l'est pas de recommander pour tous ces grands travaux,

d'avoir recours à un habile ingénieur, qui connoisse ces genres de construction, & à des ouvriers capables, principalement à un appareilleur, un maître charpentier ou gâcheur, ainsi qu'un poseur qui soient expérimentés & soigneux pour diriger les autres ouvriers.

104.

Après cinquante-six années d'expérience sur les plus grands travaux hydrauliques, on a lieu d'espérer avoir indiqué quelques moyens utiles; cependant on ne croit devoir encore les annoncer qu'à titre de notions qui pourront guider les savans constructeurs dans la recherche & la perfection de ces moyens, ce que l'on a eu pour objet par le présent Mémoire; ou tout au moins qu'ils pourront encourager l'entreprise des arches de 200 pieds & 300 pieds dont on ne connoît pas d'exemple existant, ce qui conduira à de plus grandes entreprises du même genre.

105.

On pourroit cependant citer qu'il a existé dans l'antiquité des monumens très-importans de cette espèce, savoir; le pont construit à Worhel, sur le Danube en Hongrie, par l'empereur Trajan, d'après les dessins d'Apollodore de Damas, lequel étoit composé de vingt arches, chacune de 170 pieds d'ouverture en plein cintre, de 80 pieds de largeur d'une tête à l'autre & de 235 pieds de hauteur sous clef à compter du dessus des eaux ordinaires. Mais ce grand monument qui étoit unique, fut détruit peu de temps après sa construction, par l'empereur Adrien, pour empêcher le passage des troupes ennemies. Il n'en reste plus que quelques piles de 60 pieds d'épaisseur, & des naissances d'arches.

L'arche de 200 pieds d'ouverture en plein cintre, construite par l'empereur Justinien, sur le fleuve Sandaris dans l'Asie mineure, dont l'éloge fait en grec par Porphirogenète, a été traduit en latin par Vulcanius Bonnaventura, quoique moins considérable pour la batisse, est cependant plus intéressante relativement à l'art que le pont précédent : elle étoit aussi la seule d'une aussi grande ouverture, dont il ait été fait mention.

Quoique ces grands ouvrages puissent contribuer à la perfection de l'art sur la construction des ponts, on ne conseille cependant pas de s'en occuper dans la seule intention de chercher à vaincre des difficultés, parce que le mérite essentiel de ces travaux doit consister dans la solidité, l'économie & l'utilité que l'on peut en retirer.

Paris, ce 1.^{er} décembre 1792, l'an premier de la République Française. Signé PERRONET.

A P A R I S,

DE L'IMPRIMERIE NATIONALE EXÉCUTIVE DU LOUVRE.

M, DCC. XCIIL.



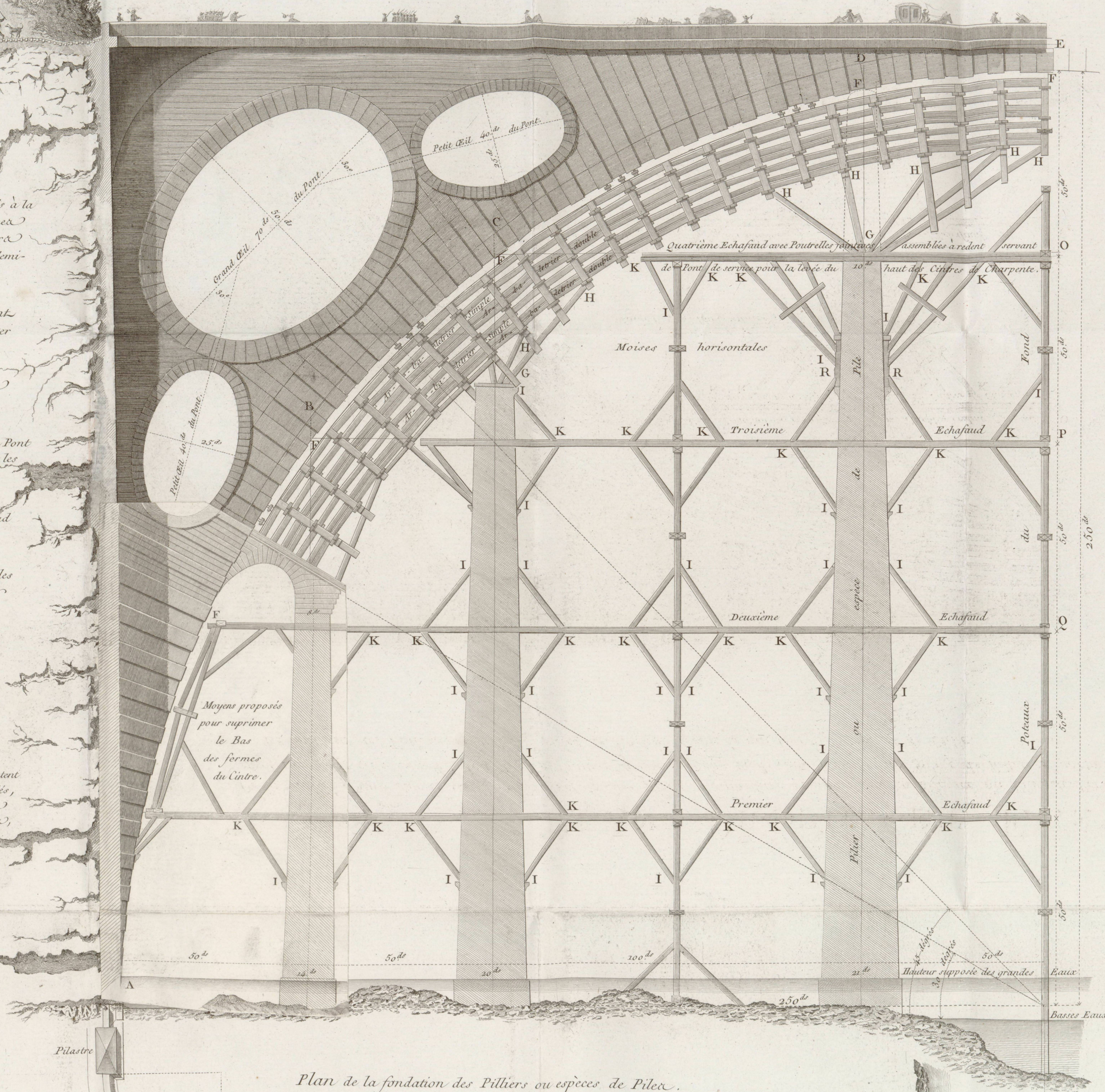
PLAN PROFIL ET ELEVATION

De la moitié d'une Arche en plein Centre de 500 pieds d'ouverture relativement au Mémoire du Citoyen Perronet sur la recherche des moyens que l'on pourrait employer pour cette Construction et celle d'autres Arches de 200 pieds, 300 pieds et de 400 pieds faites en portion d'Arc de Cercle.
Le tout sur des Vallées profondes bordées de Rochers escarpés qui leur serviraient de Culées.

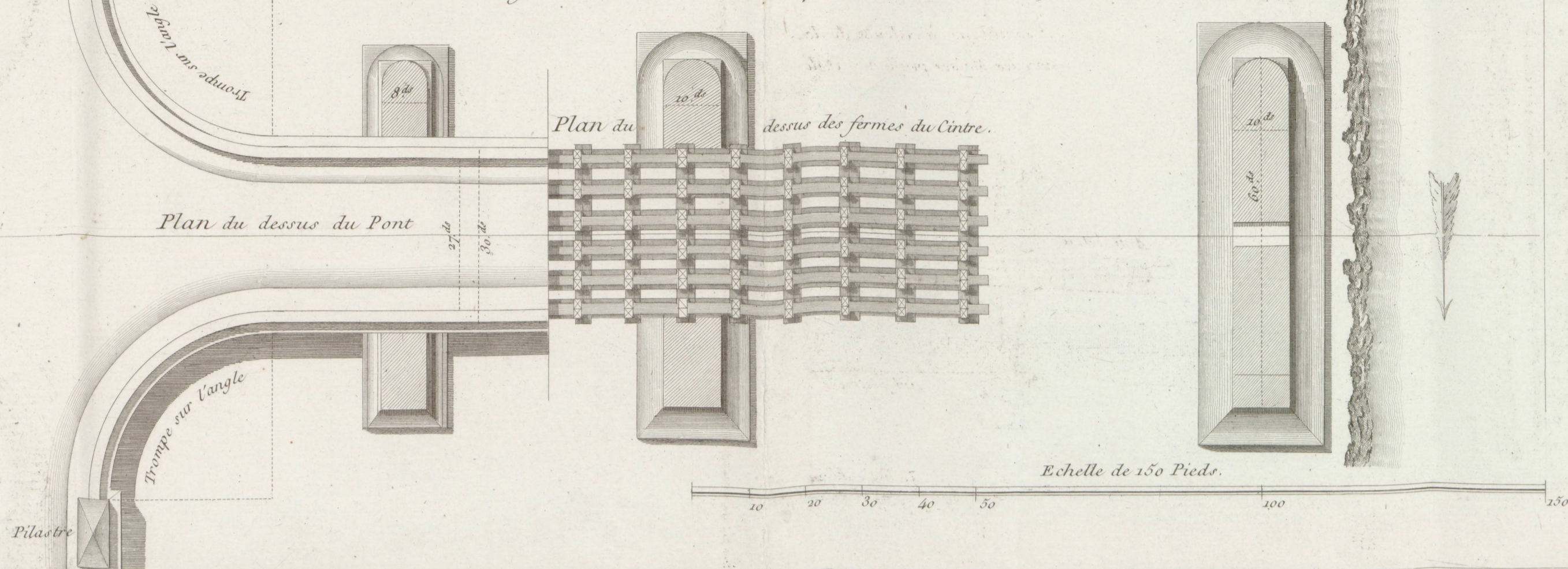
Legende

- A,B,C,D,E. Courbe Elliptique, plus élevée de 8 pieds à la clef au point E, dont on présume que les fermes pourront s'abaisser sous la charge des Voussoirs jusqu'au point F, pour former la Courbure en demi-Cercle que l'on se propose de donner à l'Arche.
- B,F. Parties des Lignes verticales qui doivent exprimer l'affaissement des fermes pour former une Courbure demi-Circulaire.
- C,F. D,F. E,F. Liens en Contre-Fiches qui doivent servir à décharger les Cintres sur les points d'appui.
- G,H. Autres Liens pour fortifier les Echafauds et le Pont provisionnel et pour équilibrer les Piliers avec les Poutrelles des Echafauds, cotés K.K.
- I,K. Echafauds ambulants qui serviront d'un Echafaud à l'autre pour élever la maçonnerie des Piliers.
- L,M. Passage à pratiquer au milieu de la longueur des Piliers ou Piliers pour faciliter le service de leur construction.
- N. Naissance de l'Arche de 200 pieds.
- F,O. Naissance de l'Arche de 300 pieds.
- F,P. Naissance de l'Arche de 400 pieds en portion d'Arc ainsi que les précédentes.
- R. Jambes de forces.

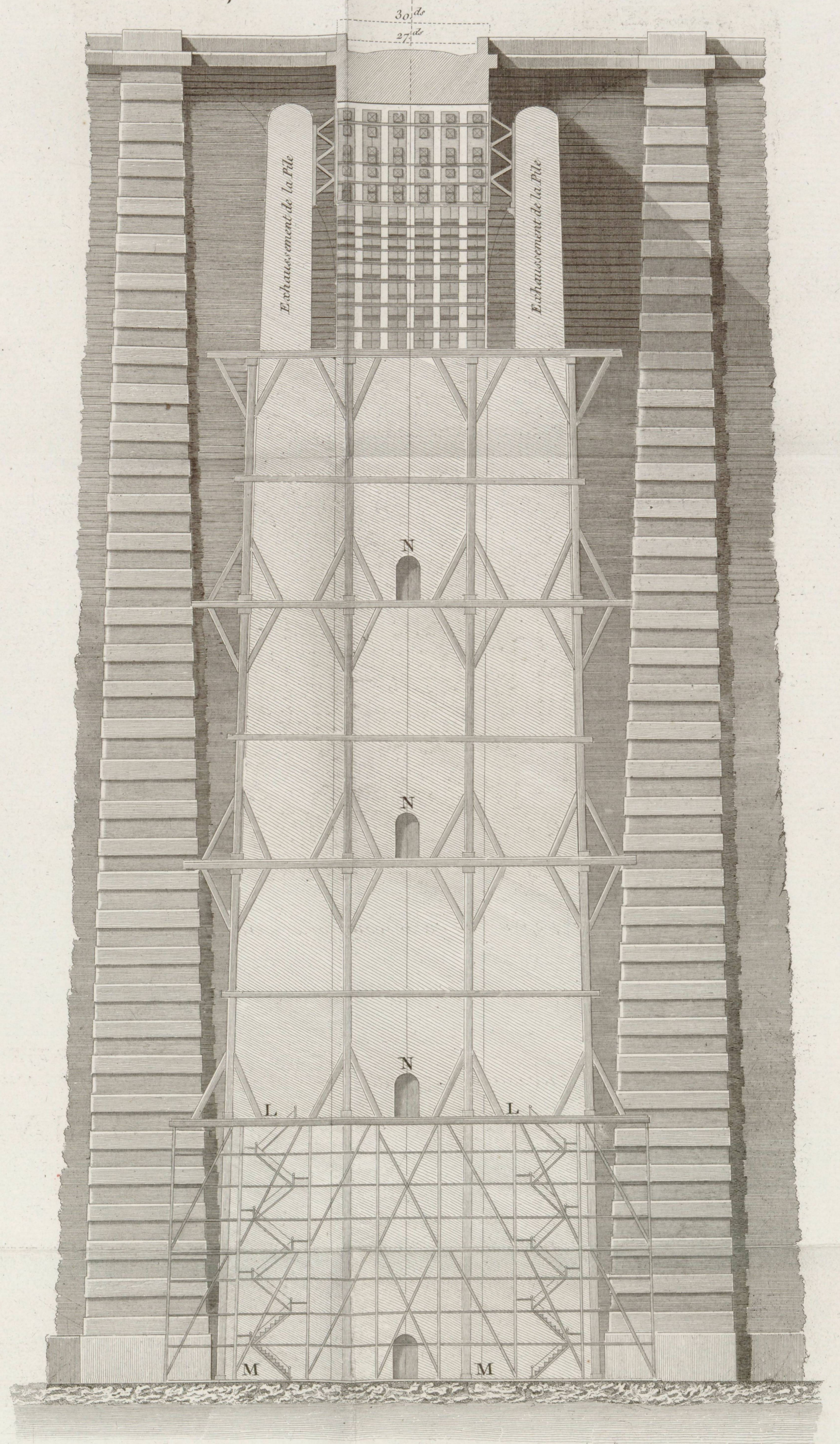
Chaque Bosage et l'intervalle de l'un à l'autre, représentent sur le dessin de l'Arche, trois cours de Voussoirs accolés, deux seulement au grand Oeil du Pont et un aux petites, quoique l'on n'ait mis qu'un Couchis en quelques endroits, aux Douelles de la grande Arche, au lieu de trois qu'il auroit fallu parce qu'ils n'auroient pas été rendus sensibles d'après l'Echelle.



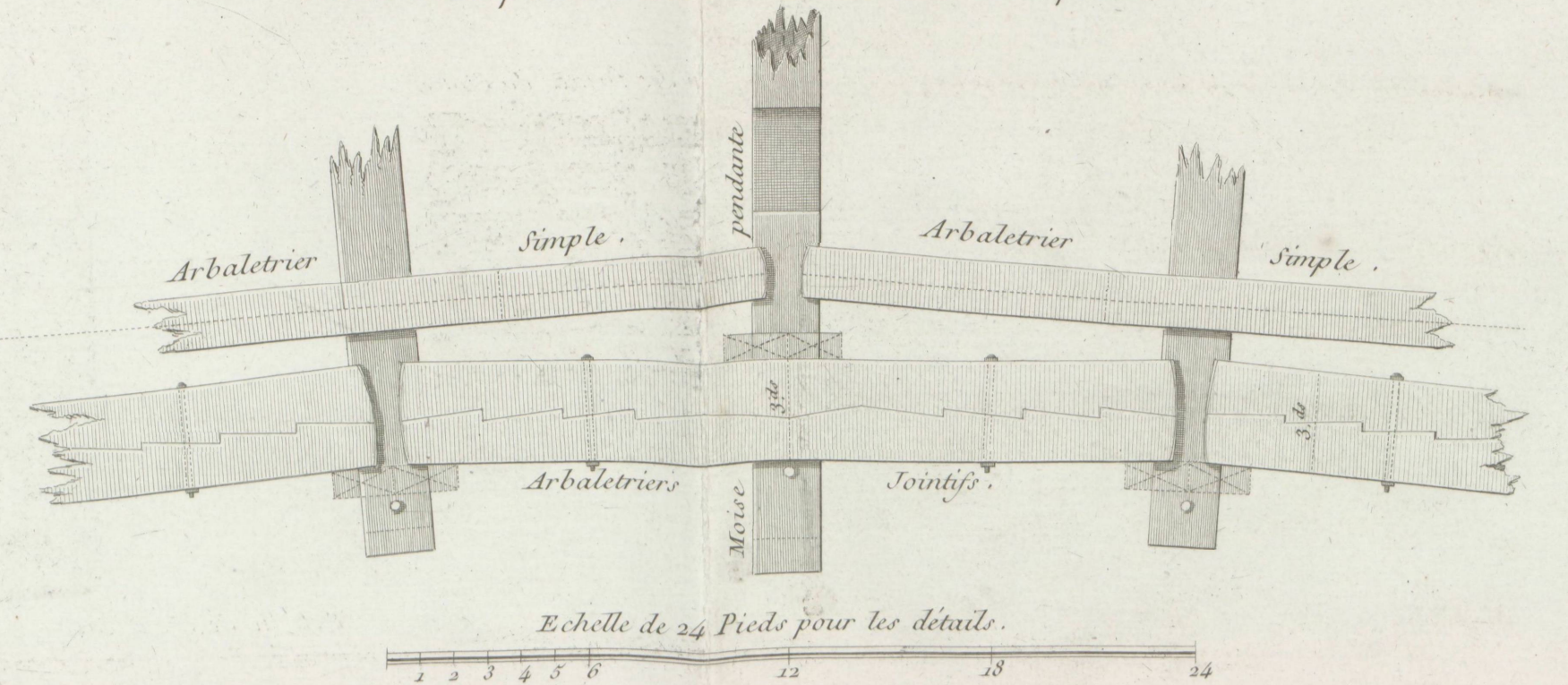
Plan de la fondation des Piliers ou espèces de Piles.



Coupe sur la largeur du milieu de l'Arche.



Assemblage à redents de deux des Arbaletriers jointifs du bas des fermes avec les Moises pendantes et de deux Arbaletriers isolés supérieurs.





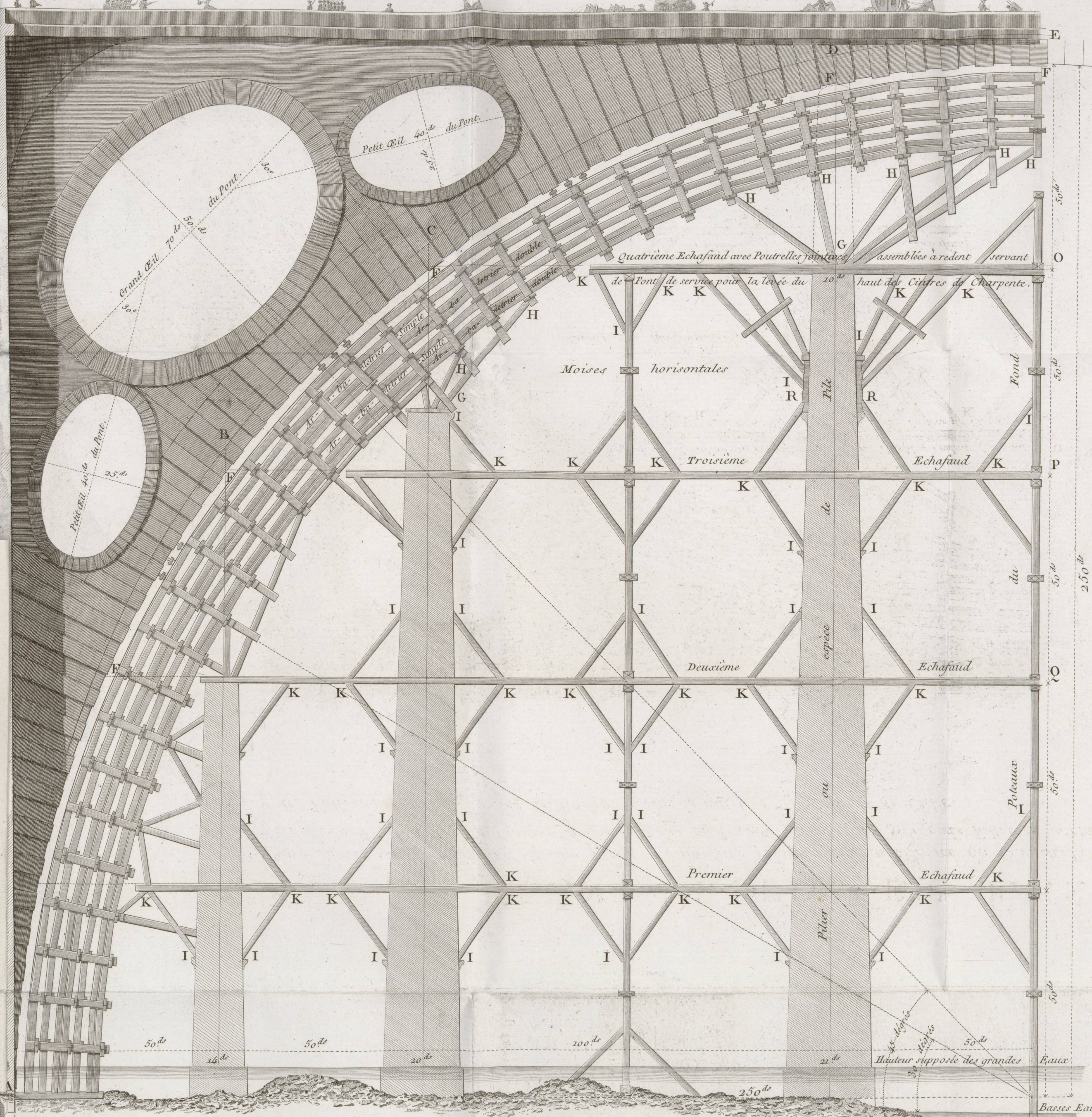
PLAN PROFIL ET ELEVATION

De la moitié d'une Arche en plein Cintre de 500 pieds d'ouverture relativement au Mémoire du Citoyen Perronet sur la recherche des moyens que l'on pourrait employer pour cette Construction et celle d'autres Arches de 200 pieds, 300 pieds et de 400 pieds faites en portion d'Arc de Cercle.
 Le tout sur des Vallées profondes bordées de Rochers escarpés qui leur serviraient de Culées.

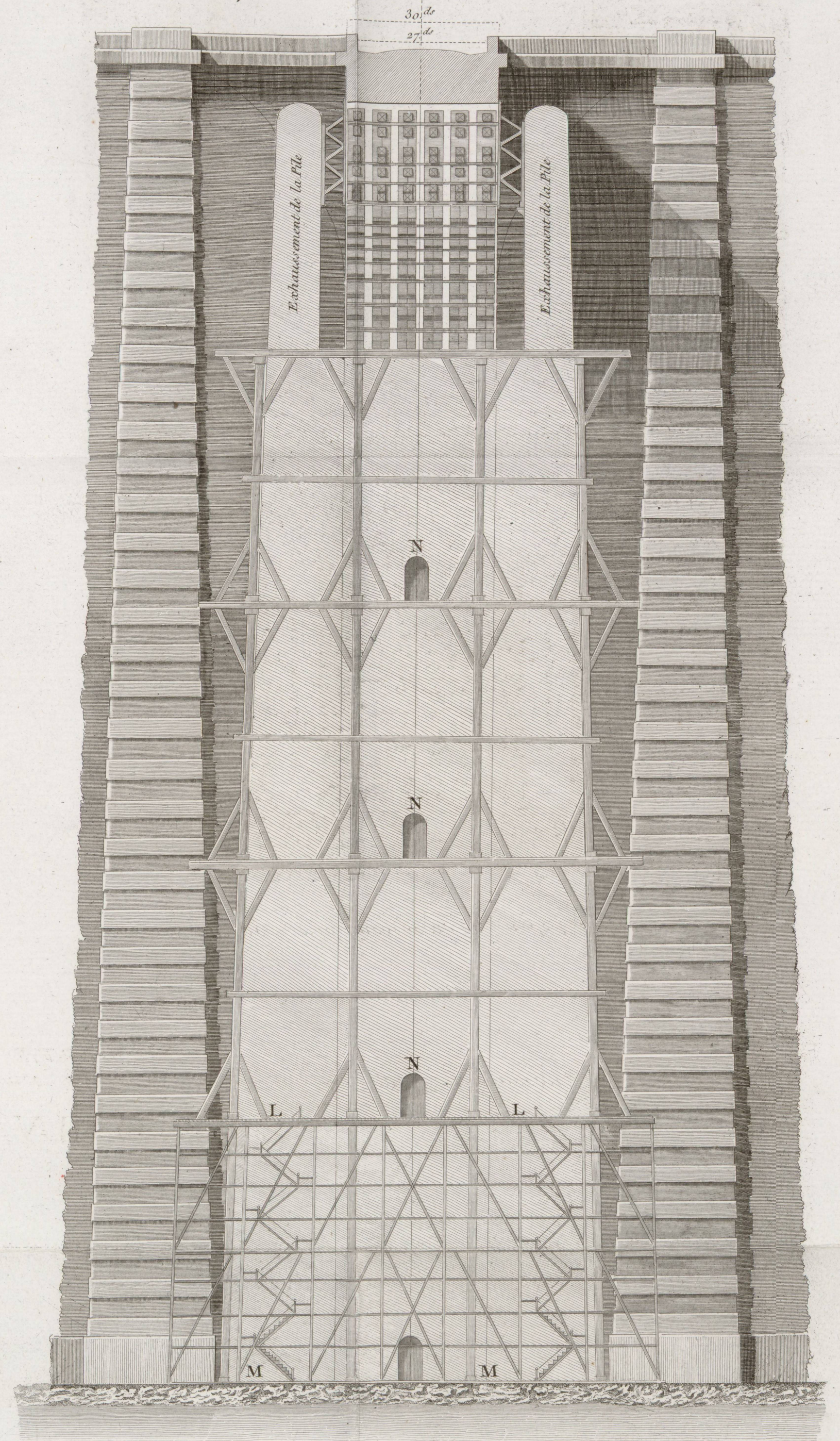
Legende

- A, B, C, D, E. Courbe Elliptique, plus élevée de 8 pieds à la clef au point E, dont on présume que les fermes pourront s'abaisser sous la charge des Voussoirs jusqu'au point F, pour former la Courbure en demi-Cercle que l'on se propose de donner à l'Arche.
- B, F. Parties des Lignes verticales qui doivent exprimer l'affaissement des fermes pour former une Courbure demi-Circulaire.
- C, F. D, F. E, F. Liens en Contre-Fiches qui doivent servir à décharger les Cintres sur les points d'appui.
- G, H. Autres Liens pour fortifier les Echafauds et le Pont provisionnel et pour dressillonner les Piliers avec les Pontrelles des Echafauds, côtés K, K.
- I, K. Echafauds ambulants qui serviront d'un Echafaud à l'autre pour élever la maçonnerie des Piliers.
- L, M. Passage à pratiquer au milieu des Piliers ou Piliers pour faciliter la construction.
- N. Naissance de l'Arche de 200.
- F, O. Naissance de l'Arche de 300.
- F, P. Naissance de l'Arche de 400.
- F, Q. d'Arc aussi que les précédents.
- R. Jambes de forces.

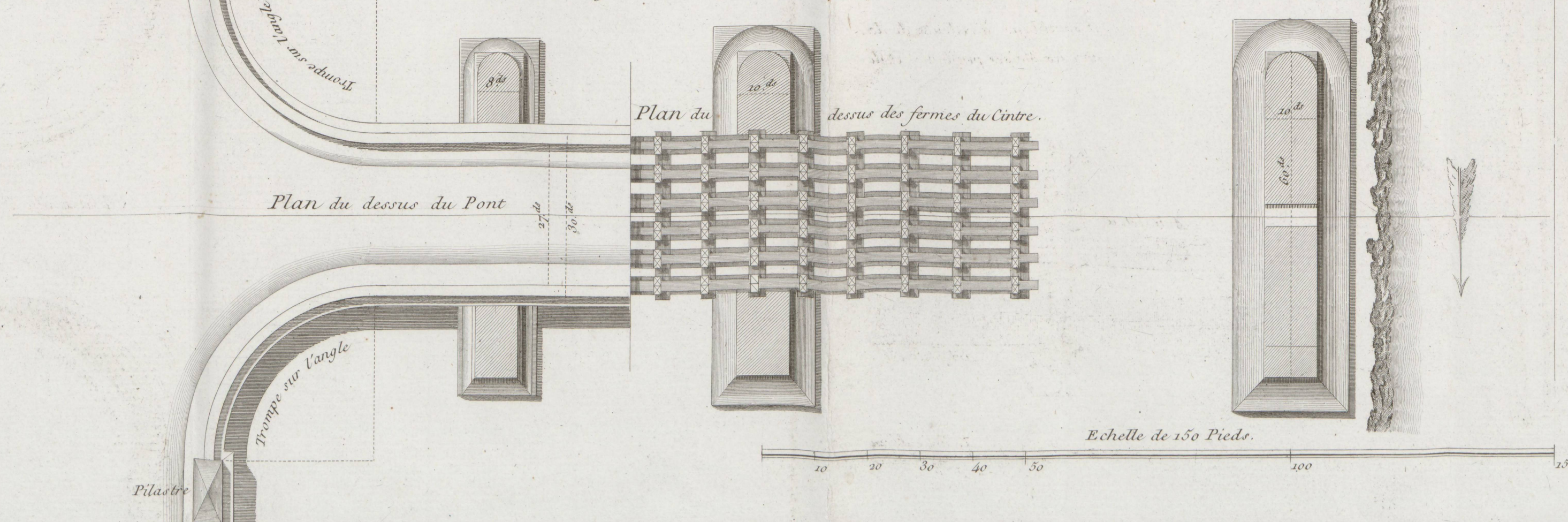
Chaque Boiserie et l'intervalle sur le dessin de l'Arche, trois à deux seulement au grand Oeil à quoique l'on n'ait mis qu'un Cote aux Douelles de la grande Arche, mais il faut parce qu'il n'aurait pas été possible d'après l'Echelle.



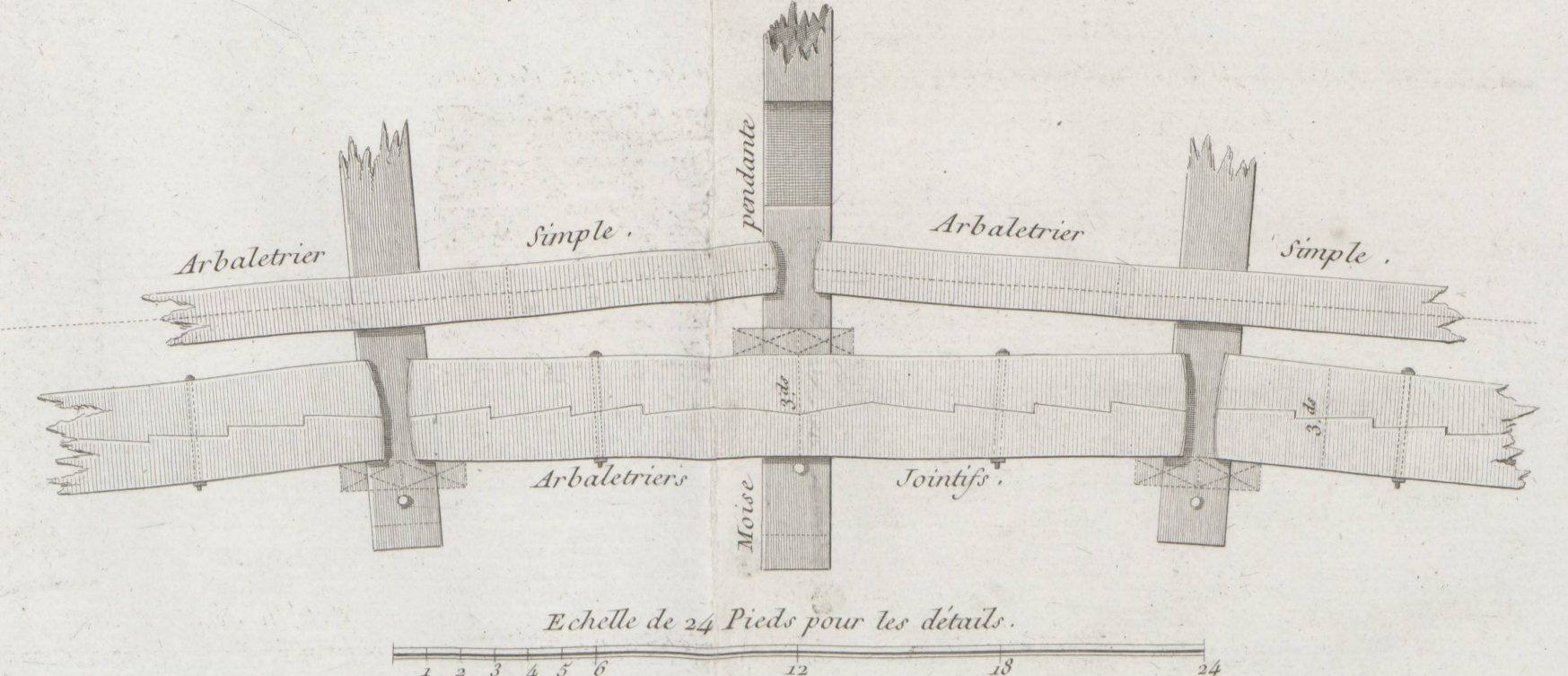
Coupe sur la largeur du milieu de l'Arche.



Plan de la fondation des Piliers ou espèces de Pilees.

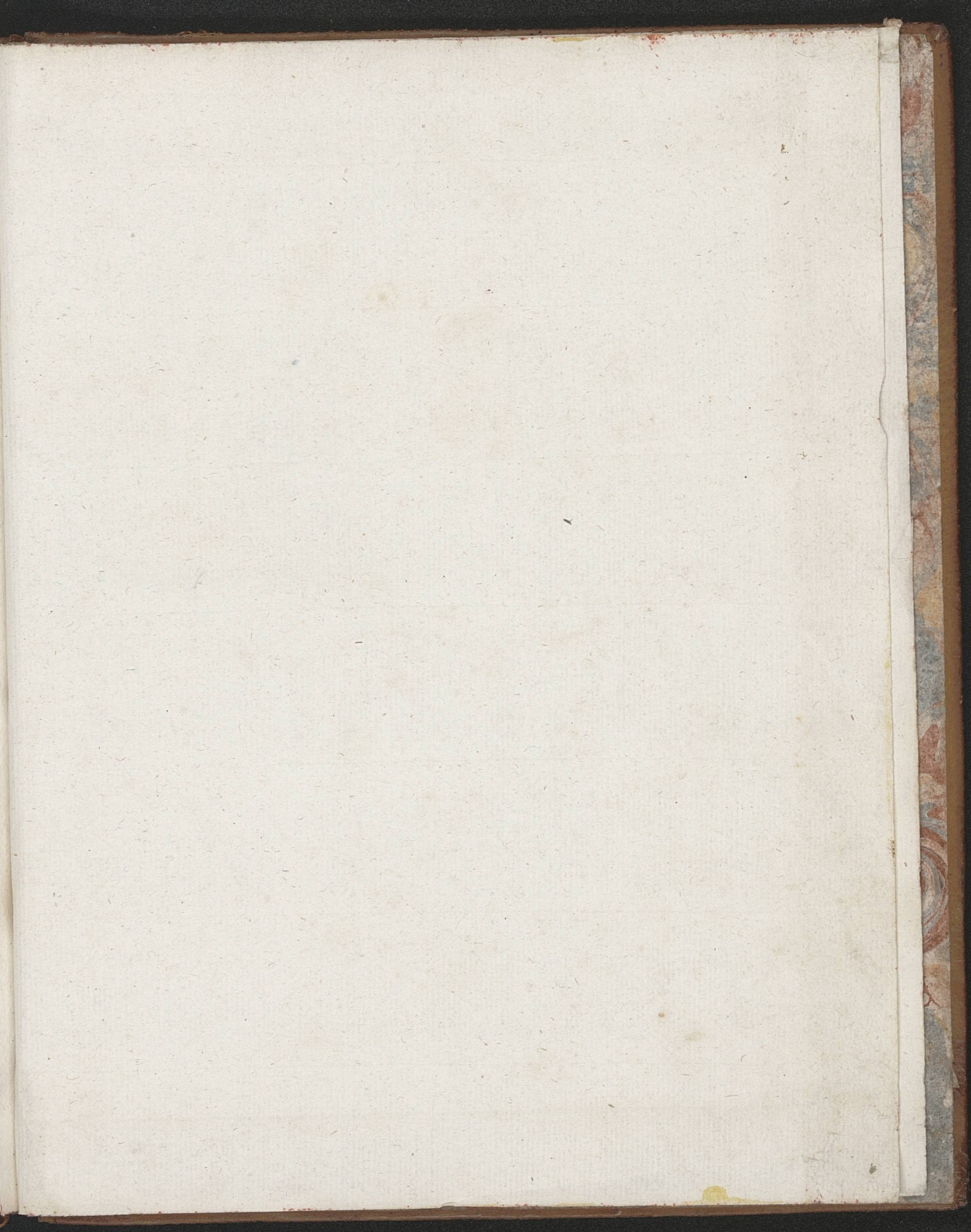


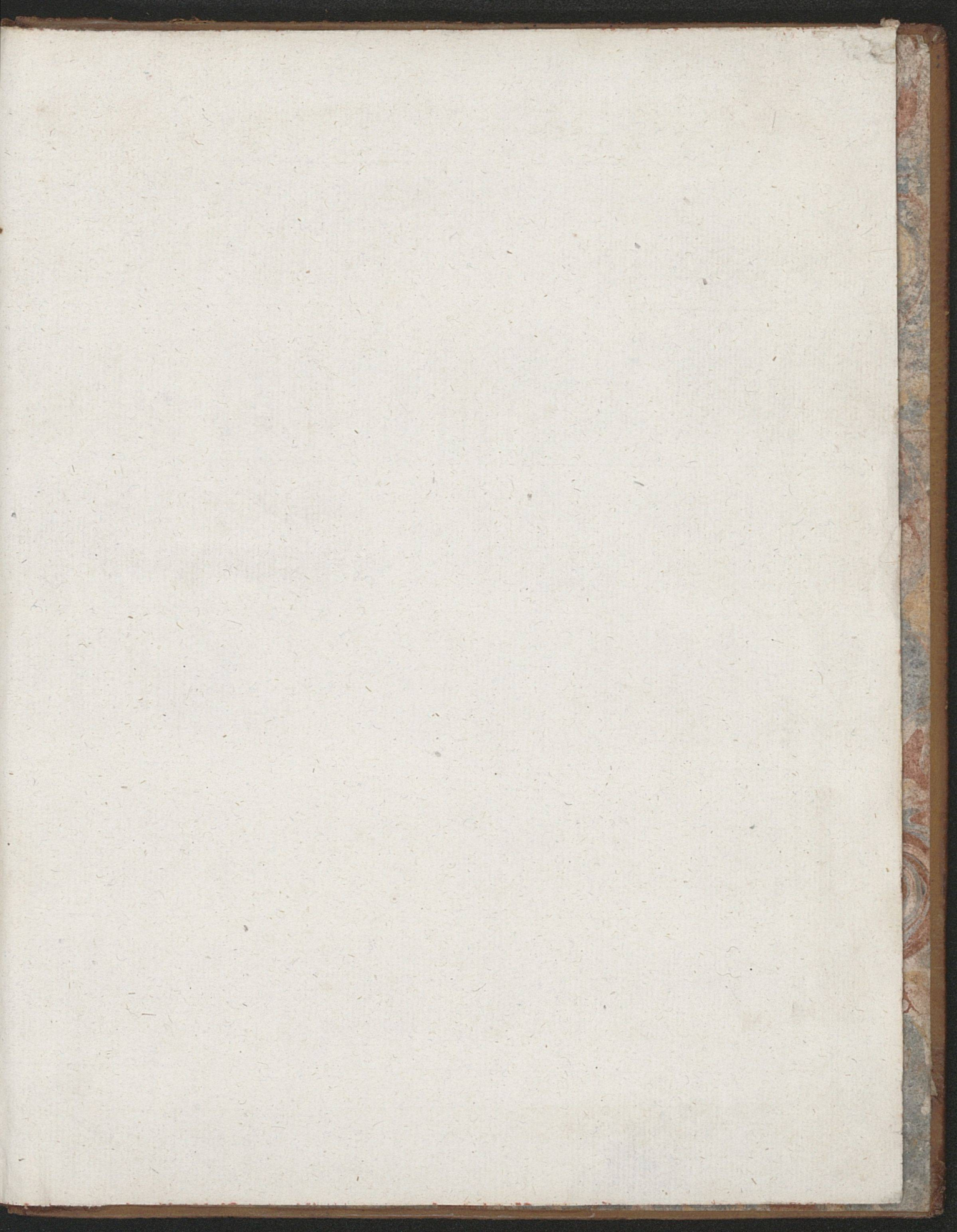
Assemblage à redents de deux des Arbalétriers jointifs du bas des fermes avec les Moises pendantes et de deux Arbalétriers isolés supérieurs.



Echelle de 150 Pieds.

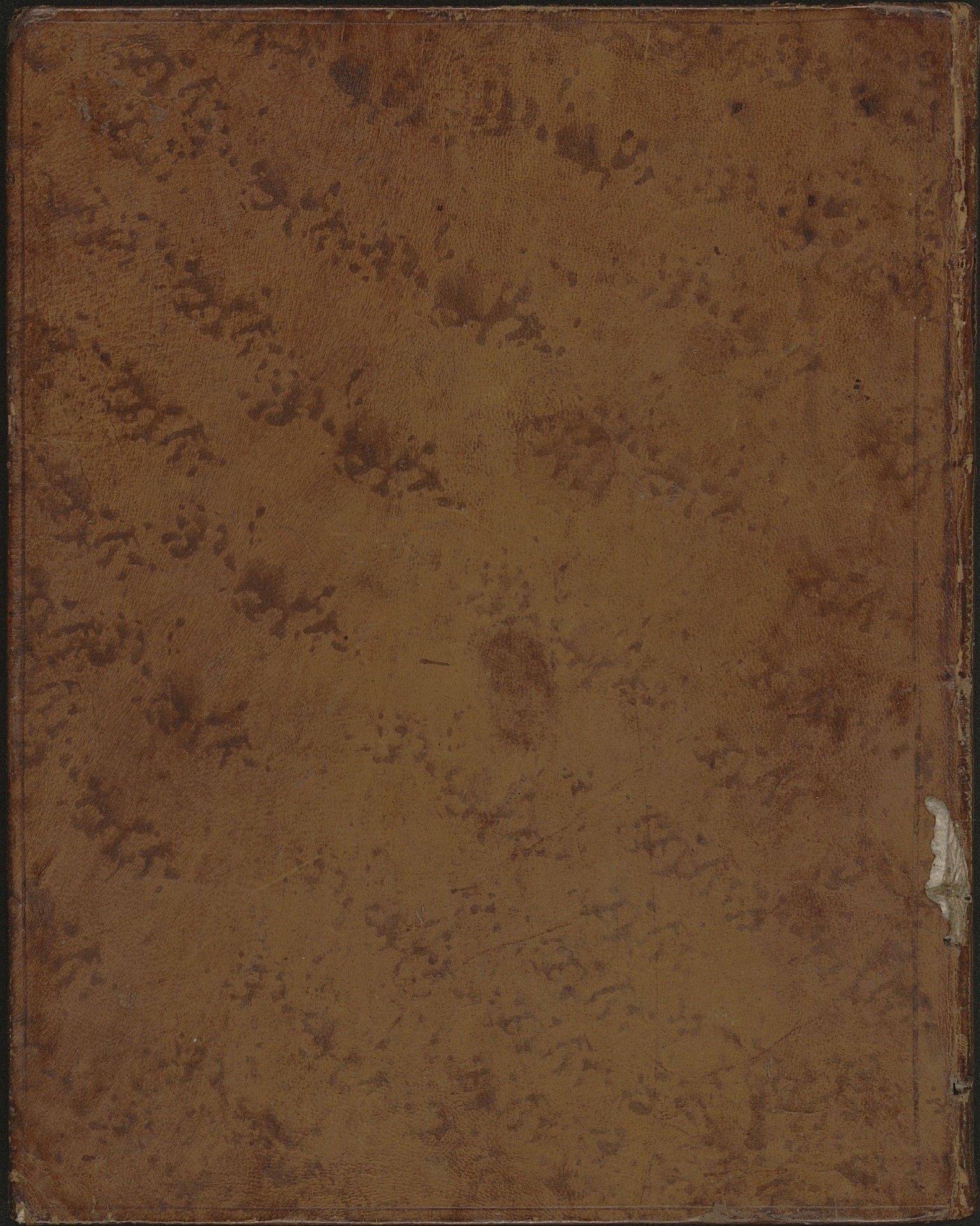
Echelle de 24 Pieds pour les détails.











MEM
DE
PER



inches

centimeters

4 3 2 1 0

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 (A)	12	13	14	15
L*	39.12	65.43	49.87	44.26	55.56	70.82	63.51	39.92	52.24	97.06	92.02	87.34	82.14	72.06	62.15
a*	13.24	18.11	-4.34	-13.80	9.82	-33.43	34.26	11.81	48.55	-0.40	-0.60	-0.75	-1.06	-1.19	-1.07
b*	15.07	18.72	-22.29	22.85	-24.49	-0.35	59.60	-46.07	18.51	1.13	0.23	0.21	0.43	0.28	0.19

	16 (M)	17	18 (B)	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
L*	49.25	38.62	28.86	16.19	8.29	3.44	31.41	72.46	72.95	29.37	54.91	43.96	82.74	52.79	50.87
a*	-0.16	-0.18	0.54	-0.05	-0.81	-0.23	20.98	-24.45	16.83	13.06	-38.91	52.00	3.45	50.88	-27.17
b*	0.01	-0.04	0.60	0.73	0.19	0.49	-19.43	55.93	68.80	-49.49	30.77	30.01	81.29	-12.72	-29.46

D50 Illuminant, 2 degree observer

Density

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0.09

0.04

0.00

0.00

0.00

0.00

0.51

0.36

0.22

0.15

0